



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY NÁBOJE KOLA

DESIGN OF WHEEL HUB PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Zahálka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Tomáš Zahálka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh výroby náboje kola

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby náboje kola z oceli objemovým tvářením za tepla. Součástka je rotačního tvaru a bude vyráběna technologií zápustkového kování. Na tuto problematiku bude zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost náboje kola,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres nástroje a kusovník.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1990. s. 250.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

ZAHÁLKA, Tomáš: Návrh výroby náboje kola.

Práce řeší návrh výroby náboje kola přední nápravy automobilu VAZ 2101 z oceli 12 050. Na základě dostupných technologií bylo zvoleno objemové tváření za tepla, konkrétně zápustkové kování, pro svůj pozitivní dopad na mechanické vlastnosti. Konstrukce zápustky odpovídá platné normě ČSN 22 8308 s uzavřenou výronkovou drážkou. Vzhledem k velikosti potřebné práce posledního úderu 52,4 kJ byl vybrán protiběžný buchar KHZ 8A s energií úderu 80 kJ. Zápustky, hrní i spodní, jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 552, popuštěné na 54 HRC.

Klíčová slova: ocel 12 050, zápustkové kování, zápustka, výkovek, buchar

ABSTRACT

ZAHÁLKA, Tomáš: Design of wheel hub production.

The subject of this thesis was to propose a possible way of production for a wheel hub on the front axle of VAZ 2101 made out of steel 12 050. Based on the available technologies was selected a volume thermoforming technology, specifically drop forging, for its positive impact on mechanical features of forging. Construction of the die conforms to the norm ČSN 22 8308 with closed spout groove. The forging is done by a power hammer KHZ 8A, with an impact energy of 80 kJ. Dies, upper and lower, made out of tool steel 19 552, tempered to 54 HRC.

Keywords: 12 050 steel, drop forging, die, forging, power hammer

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZAHÁLKA, Tomáš. *Návrh výroby náboje kola* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132271>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 21.5.2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále zde chci poděkovat své rodině, přítelkyni a blízkým přátelům za slova povzbuzení a podpory během jejího psaní.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Variantní řešení	12
2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ.....	14
2.1 Návrh výkovku.....	16
2.2 Buchary	19
2.3 Práce	21
2.4 Zápusťka.....	22
2.4.1 Výronková drážka.....	23
2.4.2 Vedení	24
2.4.3 Upnutí ve stroji.....	26
2.4.4 Předehřev, mazání a chlazení.....	27
2.5 Technologičnost výkovku.....	27
3 NÁVRH VÝROBY	29
3.1 Tolerance výkovku	31
3.2 Výronková drážka	33
3.3 Polotovary	34
3.4 Buchar	36
3.5 Konstrukce zápusťky.....	37
3.6 Pomocné operace	40
4 ZÁVĚRY	43

Seznam použitých zdrojů
Seznam symbolů a zkratk
Seznam obrázků
Seznam tabulek
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5], [6]

V dnešní době nabízí průmysl široké spektrum možností, zabývajících se úpravou kovových materiálů ať už je to změna tvaru nebo mikrostruktury. Některé technologie jsou známy již celá tisíciletí, a přesto se i dnes za ně těžko hledá náhrada. Patří sem zejména tváření, které se díky vysoké kvalitě výrobku a produktivitě s minimálním odpadem během výroby řadí mezi nejzastoupenější technologie, jejíž výrobky se používají vesměs napříč všemi odvětvími.

Tváření je technologický proces, během kterého se plasticky deformuje polotovar do požadovaného tvaru za působení nástroje. Vlivem přetvoření dochází k plastické deformaci materiálu, čímž se zlepšují jeho mechanicko-fyzikální vlastnosti. Základní dělení se provádí podle toho, zda dochází k zásadní změně tvaru a velikosti původní plochy, pak se hovoří o tváření plošném nebo objemovém, které se dále dělí dle teploty zpracovávaného materiálu, a sice za studena a za tepla. U objemového tváření za tepla se rozlišují dvě základní metody – kování volné a zápustkové.

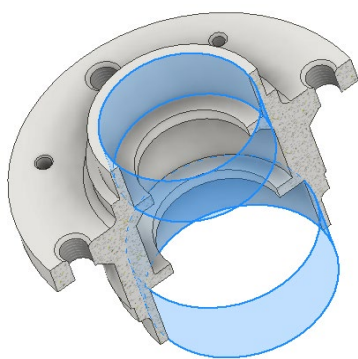
Pro zápustkové kování je typické použití komplikovanějších dělených nástrojů, takzvaných zápustek. De facto se jedná o dvoudílnou formu, připevněnou na kovací stroji, s dutinou vytvarovanou podle negativu výrobku. Materiál, ohřátý nad teplotu A_{c1} a A_{c3} , se vloží do nástroje a několika údery se formuje do požadované podoby, dochází k usměrnění vnitřní struktury a zlepšují se mechanické vlastnosti materiálu. Metoda je hojně využívána v hromadné výrobě, zejména v automobilovém průmyslu k produkci vysoce kvalitních součástek. Na obr. 1 se nachází ukázka možných zápustkových výkovků.



Obr. 1 Ukázka výkovků [6]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [7], [8], [9], [10], [11], [13]

Řešenou součástí je náboj předního kola (obr. 3) automobilu VAZ 2101, který se upevňuje na přední nápravu a slouží k nasazení a upevnění kola na vůz. Náboj, jak vyplývá z jeho funkce, má tvar rotačně symetrického válce s přírubou, umístěnou zhruba v první třetině výšky, a s několika osazeními po obou jejích stranách, dále obsahuje průchozí otvor v podélné ose.



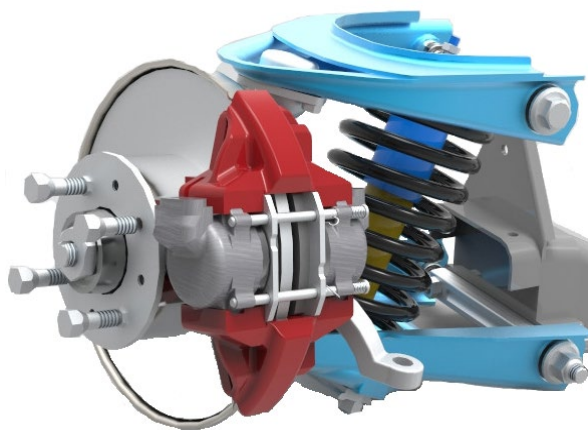
Obr. 3 3D model náboje



Obr. 2 Automobil VAZ 2101

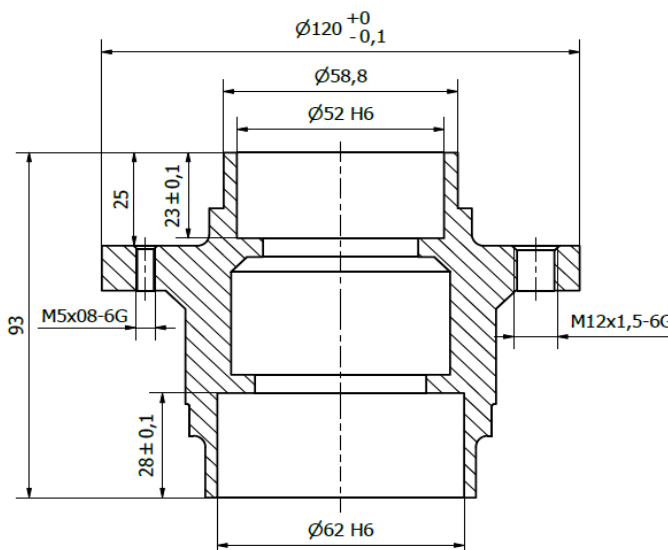
Vozidlo, vyobrazeno na obr. 2, pochází ze sovětské výroby, jehož počátky sahají do roku 1970, do města Togliatti u řeky Volhy. VAZ 2101 (Volžské automobilové závody a číselné označení typu vozu), na západě prodáván pod označením LADA Žigulík nebo LADA 1200, vychází z italského Fiatu 124 (uveden na trh v roce 1966). Na automobilu se nachází několik technických změn, aby vydrželo provoz na náročných ruských cestách. Hlavní úprava se týká zesílené karoserie, protože v tehdejší Sovětské svazu se nacházely převážně prашné či panelové cesty, nikoliv asfaltové, a hrozilo poškození tenkého plechu odletujícími kamínky. Zesílením karoserie se zároveň zvětšila její váha, proto se na autě nacházejí i zesílené sloupky.

V současné době po světě pořád jezdí několik stovek tisíc kusů aut typu VAZ 2101 nebo jeho modernějších variant. Převážná většina dílů vychází nebo se přímo shoduje s použitými díly původní generace, a protože byla ukončena výroba náhradních součástek, moderní trh obsahuje pouze zbytkové kusy těchto zásob, které se tenčí. Díl bude sloužit jako náhradní, popřípadě jako polotovár pro další úpravy před namontováním na obdobné vozy. Odhadovaná velikost série činí zhruba 15 000 kusů za rok, což je počet, u kterého se vyplatí navrhnout nástroj a technologii, která výrazně urychlí produkci výrobku. Součást slouží k upevnění ráfku kola s pneumatikou na nápravu a přenášení valivého pohybu kola na přímočarý pohyb automobilu. Náboj, dle obr. 4, je uchycen šroubovým spojením s osou tělesa otočného čepu, na kterém jsou nalisovaná ložiska. Otočný čep je spojen s horním a dolním ramenem přední nápravy dvěma kulovými klouby, zajišťujícími kyvný pohyb pření nápravy jako celku. Tlumiče kombinované s pružinami slouží k ochraně blatníku a karoserie kolem kol před poškozením, zároveň spojují horní a dolní rameno nápravy.



Obr. 4 Model přední nápravy LADA [12]

Náboj kola se skládá (obr. 5) z vnitřního průměru $\varnothing 52$ H6 mm o hloubce $23 \pm 0,1$ mm, sloužící k zalisování kuželíkového jednořadého ložiska 30205 podle normy ČSN ISO 355. Na vnější průměr $\varnothing 58,8$ mm dosedá kolo osazené pneumatikou spolu s brzdým kotoučem. Vše je upevněno na náboji čtyřmi šestihrannými šrouby a poloha je vymezena dvěma válcovými kolíky 5 x 15 ISO 8734 – Cl. Dalším funkčním prvkem je příruba o průměru $\varnothing 120 \pm 0,10$ mm, nacházející se ve vzdálenosti 25 mm od konce o vnějším průměru $\varnothing 58,8$ mm, sloužící k upevnění brzdového kotouče čtyřmi průchozími otvory, jež jsou opatřeny závitem M12 x 1,5 v toleranci 6G. Dále jsou zde ještě dva otvory se závitem M5x0,8 – 6G. Na přírubě se nacházejí dva hladké otvory o průměru $\varnothing 5$ H7 mm s hloubkou 7 mm, jež vymezují přesnou polohu brzdového kotouče a podložky. Druhé kuželíkové ložisko s číselným označením 30206, umístěné na opačné straně v otvoru o průměru $\varnothing 62$ H6 mm a hloubce $28 \pm 0,1$ mm, odpovídá normě ČSN ISO 355. Celková výška náboje je 93 mm.



Obr. 5 Náčrt náboje

Při výběru materiálu, ze kterého má být vyrobena výše popsaná součást, musí být bráno v potaz množství faktorů, které by mohly mít při zanedbání neblahé následky. Za nejdůležitější se obecně považuje druh namáhání náboje kola. Zpravidla to bývá krut, a to z důvodu přenosu rotačního pohybu celého automobilu na pohyb přímočarý. Pokud se na povrchu vyskytne překážka, například lokálně snížená/zvýšená část vozovky, přes kterou přejede kolo, může se zde chvilkově vyskytovat i ráz, proto musí materiál vydržet i dynamické namáhání za zvýšené rychlosti. K dalším faktorům se řadí charakter okolního prostředí, čímž se rozumí například klimatické podmínky. Náboj kola musí být provozuschopný za jakéhokoliv počasí – za deště nebo za teplot hluboko pod 0°C .

Vhodným materiálem se jeví ocel s vyšším obsahem uhlíku, vhodná k zušlechťování. Zároveň je možné ocel cementovat, čímž se výrazně zvýší oteruvzdornost díky cementitu v povrchové vrstvě, aniž by došlo k ovlivnění mechanických vlastností jádra, které zůstane houževnaté. Z výše uvedených důvodů byla vybrána ocel 12 050, podle normy EN 10083-2 je označení 1.0503, hodící se pro výrobu větších ozubených kol, vodících čepů atd. V tabulce 1 je uvedeno chemické složení oceli a v tabulce 2 se nacházejí vybrané mechanické vlastnosti.

Tabulka 1 Chemické složení oceli 12 050 [13]

C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	P [%]	S [%]
0,46	0,69	0,23	0,10	0,011	0,05	0,014	0,007

Tabulka 2 Mechanické vlastnosti oceli 12 050 [13]

Mez pevnosti R_m [MPa]	Mez kluzu R_{emin} [MPa]	Tvrdość HB	Třída odpadu
688	295	Max 236	007

1.1 Variantní řešení [1], [3], [4], [10], [14], [15], [16], [17], [18], [19]

V dnešní době nabízí strojírenský průmysl velké množství technologií, kterými může být náboj kola vyroben, proto je důležité vybrat tu nejvhodnější. Během volby se bere v potaz velikost série, požadavky na materiál (jak z pohledu kvality vnějšího povrchu výrobku, tak i mikrostruktury), jeho mechanické vlastnosti, a důležitým faktorem je celková ekonomičnost výroby. Vzhledem k tvarové složitosti průchozího otvoru a požadavkům na kvalitu povrchu není možné, aby byla součást zhotovena najednou na hotovo, proto bude použito třískové obrábění jako dokončovací operace. Základní hrubý tvar lze zhotovit technologií:

- Třískového obrábění – jež lze definovat jako mechanické oddělování třísky z povrchu materiálu za působení vnějších sil, viz obr. 6. V průběhu obráběcího procesu dochází k rozrušení povrchové vrstvy, čímž v ní vzniká zbytkové napětí, které mírně snižuje mechanické vlastnosti materiálu. Součást se skládá primárně z rotačních válcových ploch, což je výhodné pro soustružení. Dosahovaná přesnost odpovídá IT7 až IT14, v případě moderních CNC strojů s vysokou tuhostí je to až IT5. Mezi výhody patří přesnost výroby a vysoká jakost povrchu, která odpovídá až Ra 0,2. K nevýhodám patří vysoký podíl odpadu, který se pohybuje u soustružené součásti kolem 80 % z celkového objemu, což zdražuje výrobu a prodlužuje strojní časy. Série činí 15 000 kusů za rok, což při takovém množství značně snižuje produktivitu a zbytečně prodražuje použité nástroje. Po obrobení výrobek nedisponuje dobrými mechanickými vlastnostmi. Obrábění, konkrétně soustružení a vrtání, bude využito jako dokončovací operace
- Odlévání – princip spočívá v roztavení kovu v peci, následném nalití do předem připravené formy, viz obr. 7, podle které získává odlitek během tuhnutí konečný tvar. Jakmile kov vychladne, hotový výrobek nevyžaduje téměř žádné další úpravy. Během lícího procesu vznikají odlitky jednoduchých tvarů, např. trubky, nebo i tvary složitější, které obsahují komplikované dutiny, žebra apod. Díky vysoké rychlosti výroby a minimálnímu odpadu je odlévání vhodné zejména pro sériovou produkci. V průběhu výrobního procesu dochází ke vzniku hrubé lící struktury, jež má negativní dopad na mechanické vlastnosti součásti. Teplota, klesající v závislosti na tloušťce stěny, způsobuje vznik pnutí a trhlin, které mohou narušit celistvost součásti a znehodnotit ji. Během chladnutí se mění objem odlitku, mohou vznikat staženiny, povrchové a vnitřní vady, které nemusí být objeveny při kontrole. Z výše popsanych důvodů není technologie vhodná.



Obr. 6 Příklad soustružení [20]



Obr. 7 Příklad odlévání [21]

- Protlačování – probíhá jako objemové tváření, buď za studena nebo za poloohřevu, působením čela průtlačníku na výchozí materiál v podobě špalíku a jeho následném usměrnění průtlačnicí, viz obr. 8. Díky minimálnímu odpadu polotovaru, zvýšeným mechanickým vlastnostem tvářené součásti a nepřerušnému průběhu vláken se řadí mezi progresivní technologie, navíc je možné vyrobit i poměrně tvarově komplikované díly o přesnosti $\pm 0,5$ mm. V průběhu procesu vznikají velké přetvárné odpory, které musí stroj překonat, proto není vhodné používat materiály s obsahem uhlíku nad 0,2 %, protože se snižuje tažnost a kontrakce. Jelikož zvolená ocel 12 050 obsahuje dvojnásobek uhlíku, než se obvykle používá, rozhodně se nejedná o materiál vhodný k zpracování touto metodou. Navíc by konstrukce nástroje byla enormních rozměrů, což by bylo velmi nákladné a neekonomické z hlediska výroby. Z výše popsaných důvodů ani tato technologie nebude použita.



Obr. 8 Příklad protlačování [22]

- Kování – spočívá v ohřátí materiálu v peci, následném vložení do nástroje, který se skládá ze dvou částí, a tvářením klidnou silou nebo několika údery, v závislosti na použitém druhu stroje. Na obr. 9 se nachází příklad kování. Díky prokování jsou vlákna v oceli usměrňována podle negativu formy, čímž získává výkovek vynikající mechanické vlastnosti, které rozšiřují portfolio využití výrobku. Výsledný produkt je možné použít takřka ihned po jeho vychladnutí, pouze se musí zbavit okují, vzniklých během ohřevu, a opracovat plochy, u kterých je to z hlediska funkce vyžadováno. Technologie se hodí pro velkosériovou či hromadnou výrobu, protože je zde dosahováno vysoké produktivity a zároveň vzniká minimální odpad, což se řadí mezi nejvýznamnější výhody. V případě výroby náboje kola se jeví zápuskové kování jako nejvhodnější, a to i přes možné negativní ovlivnění okolí. Součást nelze vyrobit na hotovo, proto se použije třískové obrábění k jejímu dokončení.



Obr. 9 Příklad kování [23]

Z výše popsaných technologií po důkladném zvážení rozměrů (největší průměr 120 mm a výška 93 mm), materiálu náboje (ocel 12 050) a velikosti série (15 000ks/rok) byla jako nejvhodnější zvolena technologie zápuskového kování pro své pozitivní dopady na výrobek. Vzhledem k tvaru součásti se zdá jako optimální použít buchar. Zvolenou technologií výroby se dále zabývá jak teoretická, tak praktická část práce.

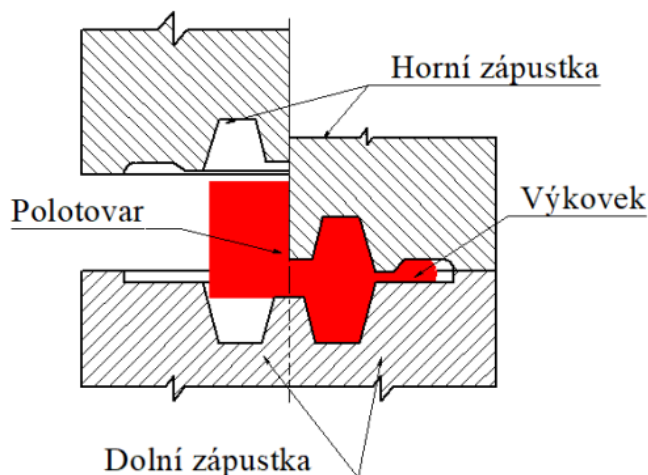
2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [1], [3], [5], [24], [25], [26], [27], [28], [29]

Zápustkové kování patří do objemového tváření za tepla, což je odvozeno od teploty zpracovávaného materiálu. Polotovar se ohřeje na kovací teplotu, vloží se do dělené zápustky a několika údery se napěchuje do dutiny, čímž dostane tvar, viz obr. 10. Technologie se používá pro tvarové složité výkovky, jež jsou produkovány ve velkých počtech a je požadována vysoká rychlost produkce, proto nachází hlavní uplatnění v hromadných a velkosériových provozech.

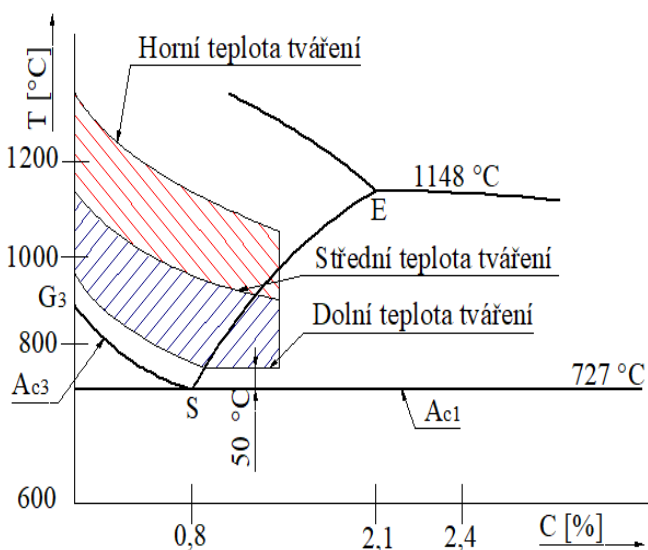
Základním předpokladem pro dosažení kvalitního výrobku a zároveň prodloužení životnosti nástroje je správné stanovení kovacích teplot, respektive jejich rozsahu. Zpravidla se kove za vyšších přípustných teplot (200 až 300 °C pod solidem), a to z důvodu snížení deformačního odporu materiálu polotovaru, čímž se výrazně zmenšuje opotřebování zápustky. Dolní kovací teploty jsou omezeny křivkami A_{c3} a A_{c1} (zhruba 50 °C nad nimi), viz obr. 11, provádí se zde primárně dokončovací operace. Se správným ohřevem souvisí i pnutí uvnitř výkovku – je-li dosažena dostatečně vysoká teplota, zachová si jádro vyšší teplotu po výrazně delší čas než okolí blízké povrchu, postupným chladnutím je teplo předáno jádrem do zbytku výkovku, čímž se eliminuje pnutí.

Nežádoucími jevy výdrže na teplotě jsou:

- Přehřátí oceli – dochází k ní během dlouhé prodlevy na vysoké teplotě. Projevuje se růstem zrna a difuzí síry ve formě sulfidu na hranice zrn austenitu. Přehřátím se zhoršují plastické vlastnosti oceli – primárně jde o vrubovou houževnatost, kontrakci a tažnost. Nemá však vliv na pevnost a mez pružnosti. Překováním s dostatečným prokováním dojde k napravení zničeného materiálu, popřípadě se použije speciální difuzní žhání za vysokých teplot.
- Spálení oceli – jež nastává u teplot, blízkých se k teplotě tavení. Dochází k natavení zrn, ve kterých se začne rozpouštět fosfor spolu s již natavenou sírou. Jakmile dojde k ochlazení, lze na hranicích zrn najít vyloučené suflidy, místa s vysokým obsahem fosforu, případně vyloučené fosfidy. Během ohřevu se spálení projevuje bílými jiskrami, které ve shlcích srší z místa s vysokou teplotou, která se mění ze zářivě žluté barvy na výraznou bílou. Navíc dochází ke ztrátě materiálu na váze. Spálenou ocel



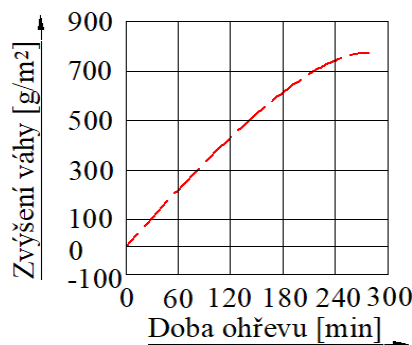
Obr. 10 Kování v zápustce [24]



Obr. 11 Kovací teploty uhlíkových ocelí [28]

nelze nijak obnovit, má špatné mechanické vlastnosti, proto se takto zničený výkovek prohlásí za neshodný kus a dále se s ním nepracuje.

- Oxidace, vznik okují – během ohřevu působí na ocel kyslík, oxid uhličitý a vodní páry v pecní atmosféře, které vytvářejí na povrchu oxidy železa, takzvané okuje. Jejich tvorba závisí na několika faktorech. Prvním je chemické složení, které ovlivňuje primárně rychlost jejich vzniku – v případě nízkouhlíkových ocelí se jedná o přírůstek zhruba 22 g/m²/hod. K druhému faktoru patří teplota ohřevu – první okuje vznikají již při 570 °C, jejich růst má parabolickou závilost až do zhruba 700 °C, viz obr. 12. Při příliš vysokých teplotách dochází k rovnoměrnému zakrytí povrchu a pronikání kyslíku do středu výkovku podél hranic austenitických zrn. Oxidaci a vzniku okují se dá předejít zvolením vhodné pecní atmosféry.
- Oduhličení – které ochuzuje povrch materiálu o uhlík. Míra ochuzení závisí na obsahu uhlíku v materiálu, na složení atmosféry v peci, na době a teplotě ohřevu. Platí však, že zasahuje hlouběji pod povrch materiálu oproti zbylým průvodním jevům. Projevuje se hlavně u tepelného zpracování a u dolních tvářecích teplot, kdy povrchová vrstva není schopná dosáhnout potřebné tvrdosti a dochází ke snížení pevnosti. Oduhličená hloubka může být až 2 mm.



Obr. 12 Vlivy působící na oxidaci [5]

Moderní technologie poskytují celou řadu způsobů ohřevu, mohou to být například pece:

- Plynové – které fungují na principu spalování proudících plynů z hořáků umístěných ve stěnách a stropu pecní komory. Do hořáků se přivádí atmosferický vzduch, fungující jako okysličovadlo, a plyn, který může být například zemní. Jelikož jsou plameny v přímém kontaktu s ohřívaným materiálem, vzniká velká oxidace povrchu. Slouží pro ohřev středních či velkých kusů materiálu.
- Odporové – nacházející uplatnění ve všech odvětvích průmyslu. Teplo vzniká průchodem elektrického proudu ve vodivém prostředí. Dělí se na přímý (materiál se ohřívá přímým průchodem proudu skrz něj, přičemž metoda vyžaduje velký elektrický výkon) a nepřímý odporový ohřev (teplo vzniká v topných člancích, uložených přímo v komoře pece, přenáší se sáláním, což může vést k lokální spálení povrchu materiálu). Tento typ pecí je vhodný jak pro kusovou, tak sériovou výrobu díky vysoké rychlosti ohřevu a tepelné setrvačnosti.
- Indukční – využívají princip střídavého proudu. V cívce, kterou prochází elektrický proud, se vlivem amplitudy indukuje napětí, po vložení polotovaru do závitu cívky (do střídavého magnetického pole) dochází k indukovaní vířivých proudů, zhušťují se magnetické siločáry a vyvíjí se teplo přímo v materiálu. Díky tomuto principu vzniká ohřev bez okují, navíc je možné ohřát materiál pouze lokálně. Využití nachází primárně v sériové výrobě díky snadné automatizaci a relativně rychlému nástupu tepla po opětovném zapnutí pece.

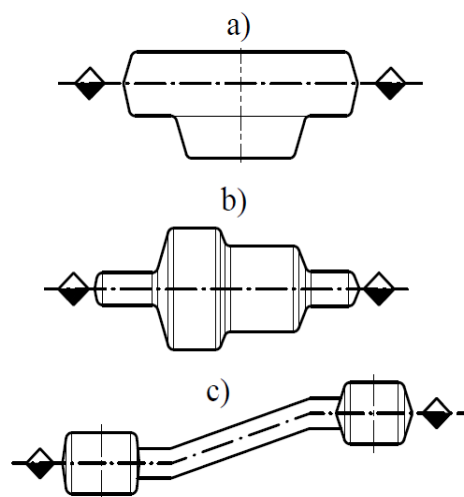
Pece se dělí podle přenosu tepla na materiál, a sice na pece s topením:

- Přímým – kde je materiál ohříván působením plamenů a zplodin hoření. Naneštěstí dochází k nepříznivému vedlejšímu efektu – oxidaci.
- Nepřímým – kdy je materiál chráněn před negativním účinky uložením v pouzdře nebo speciálních skříních. Ohřev probíhá vyzařováním tepla ze žhavých stěn pece, bez styku s atmosférou, obsahujícím kyslík.

2.1 Návrh výkovku [1], [4], [5], [10], [17], [30], [31], [32], [33]

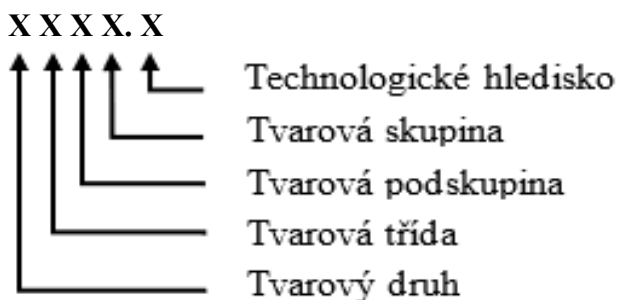
Při návrhu výkovku se nejprve vypracuje výkres součásti, ve kterém jsou zaznačeny veškeré informace dle funkčních požadavků na provoz součásti. Následuje samotný návrh výkovku, jež zahrnuje veškerá řešení technologických úskalí zvolené technologie, a skládá se z těchto částí:

- Dělicí rovina – půlí zápustku na horní a dolní. Umisťuje se tak, aby součást byla lehce vyjímatelná ze spodního dílu nástroje a to tak, že bude procházet rovinou s největší plochou (obr. 13a) nebo je vedena hlavní osou ve vloženém materiálu (obr. 13b) – obě varianty platí pro symetrický výkovek. V případě nesymetrického či tvarově složité součásti se rovina vede jako lomina, viz obr. 13c. Důvodem, proč se dělicí rovina volí jako první je, že se od její polohy odvíjí další technologické úpravy a zároveň ovlivňuje tečení materiálu při kování. Konstrukce přímé dělicí roviny je nejjednodušší, co se pracnosti týče, proto se v praxi nejvíce používá.



Obr. 13 Dělicí roviny [34]

- Složitost tvaru výkovku – zařazení se provádí podle normy ČSN 42 9002. Značí se soustavou čísel, skládající se z pěti pozic, kdy první čtyři jsou před tečkou a pátá je za tečkou, s tím že není vyžadováno jejich kompletní obsazení čísly – může být použit například symbol hvězdičky. Každá pozice má k sobě přiřazenou určitou charakteristiku výkovku, viz obr. 14. Od složitosti tvaru se odvíjí i tolerance výkovku, která se nepředepisuje zbytečně vyšší, než je nutné a volí se mezi provedením běžným, přesným a zvláště přesným. V případě složitého tvaru je velmi náročné dodržet přesné rozměry – opotřebení nástroje, možné nebezpečí špatně zaplněné dutiny, proto se dávají větší tolerance, odstraňující tyto nedostatky.

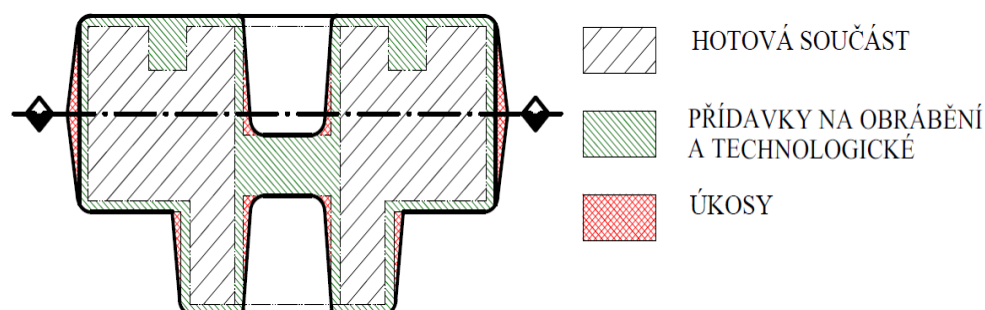


Obr. 14 Tvarová složitost výkovku [31]

- Přídavky – důležité pro správné určení velikosti polotovaru ke kování a zajišťují dostatek materiálu pro navazující operace. Provádí se podle norem ČSN 42 9030 a ČSN 42 0277. Přídavky se dělí na:
 - Obrábění – v průběhu ohřevu vzniká povrch, který je značně členitý s různými vadami (okuje, šupiny, trhliny apod.) a zároveň dochází k oduhlíčení povrchové vrstvy, proto se používají přídavky na obrábění, jež mají zajistit odstranění defektů. Předepisují se všude tam, kde se po hotové součásti vyžaduje plnění nějaké funkce – například rozměrová a geometrická tolerance nebo drsnost povrchu. Určují se podle největšího průměru, popřípadě střední hodnoty šířky a délky výkovku v kolmém směru k rázu, resp. k pohybu beranu stroje, pro nerotační výkovky. Přídavky jsou blíže popsány v tabulce 3 a vyznačeny na obr. 15

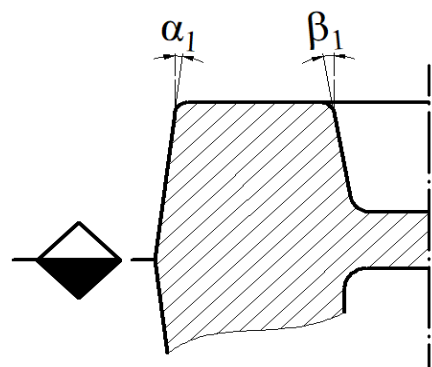
Tabulka 3 Velikost přídavek na obrábění [35]

Největší průměr, střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu [mm]		Největší výška hotového výrobku [mm]					
		Přes	25	40	63	100	160
		Do	40	63	100	160	250
Přes	Do	Přídavky na obrábění [mm]					
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5



Obr. 15 Rozdělení přídavek [33]

- Technologické – hotové součásti mnohdy nelze zhotovit použitou technologií, protože jejich tvar bývá příliš složitý – může obsahovat dutiny, žebra, značně členité plochy s úzkým a hlubokým vybráním nebo hluboké dutiny v kolmém směru rázu k dráze beranu. Z těchto důvodů se používají technologické přídavky, které zjednodušují výkovek a zlepšují chování kovaného materiálu během tvářecího procesu, viz Obr. 15.
- Úkosy – slouží k usnadnění vyjímání výkovku ze zápustky, umísťují se na svislé plochy (rovnoběžné s pohybem beranu stroje). Vnější úkosy bývají zpravidla menší, protože během chladnutí dochází ke smrštění ohřátého materiálu, jenž se díky tomu vzdaluje od stěn dutiny. Nachází-li se nějaký otvor ve výkovku, umístí se na zde vnitřní úkosy, které jsou větší, protože během chladnutí dochází k sevření stěn kolem trnu. V průběhu kování zlepšují usměrňování toku materiálu, čímž se nástroj lépe zaplňuje. V tabulce 4 se nacházejí hodnoty používaných úkosů a jejich použití přibližují obr. 15 a obr. 16.

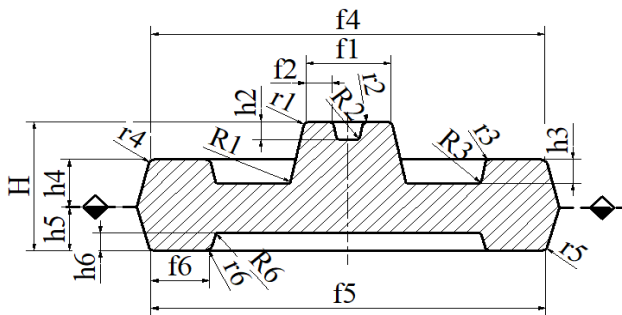


Obr. 16 Úkosy na výkovku [4]

Tabulka 4 Velikost úkosů [36]

	Vnější α_1	Vnitřní β_1
Běžen vyráběné úkosy	3°	7°
Pro buchary a lisý bez vyhazovače	7°	10°

- Zaoblení – používají se pro lepší zabíhavost zpracovávaného materiálu do rohů. Rozlišuje se zaoblení do rohů, značících se ‘r’, a do koutů, značících se ‘R’. Platí zde podmínka, že nesmí dojít ke snížení velikosti přídavku na obrábění a zároveň musí být velikost natolik velká, aby nevznikal vrub – koncentrátor napětí (hrozí tvorba trhlin, případně prasknutí). Dojde-li k nedodržení podmínky dochází k rychlejšímu opotřebení dutiny, čímž se snižuje životnost nástroje. Pokud se použije naopak moc velké hodnoty, navyšuje se spotřeba materiálu. Zaoblen jsou blíže popsána v tabulce 5 a na obr. 17.

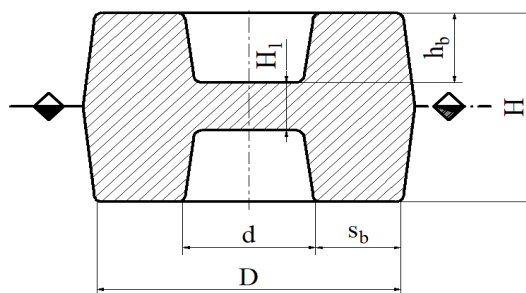


Obr. 17 Vnitřní a vnější poloměry zaoblení [37]

Tabulka 5 Zaoblení [37]

Výška (hloubka) h_i [mm]		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru [mm]					
		$\frac{h_i}{f}$ pro 2		$\frac{h_i}{f}$ přes 2 do 4		$\frac{h_i}{f}$ přes 4	
Před	Do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20

- Tloušťka blány (stěny ‘ s_b ’) ‘ H_1 ’ – technologie neumožňuje vykovat průchozí otvor, pouze blánu. Její tloušťka musí být co nejmenší a zároveň musí být zaručena bezpečnost nástroje, tzn. nesmějí se navzájem dotýkat kovací trny zápusťky (obr. 18). Po dokování bude blána odstraněna prostřížením. Rozměry určuje norma ČSN 42 0277, viz tabulka 6 nebo se počítají podle vztahu:



Obr. 18 Nejmenší tloušťka blány ‘ H_1 ’ [38]

$$H_1 = 0,45 \cdot d \cdot \sqrt{d - 0,25 \cdot h_b - 5} + 0,6 \cdot h_b \text{ [mm]}, \quad (2.1)$$

kde: d – průměr vnitřního otvoru součásti [mm],

h_b – vzdálenost od plochy, která je nejdále od středu symetrie blány [mm].

Tabulka 6 Tloušťka blány H_1 [38]

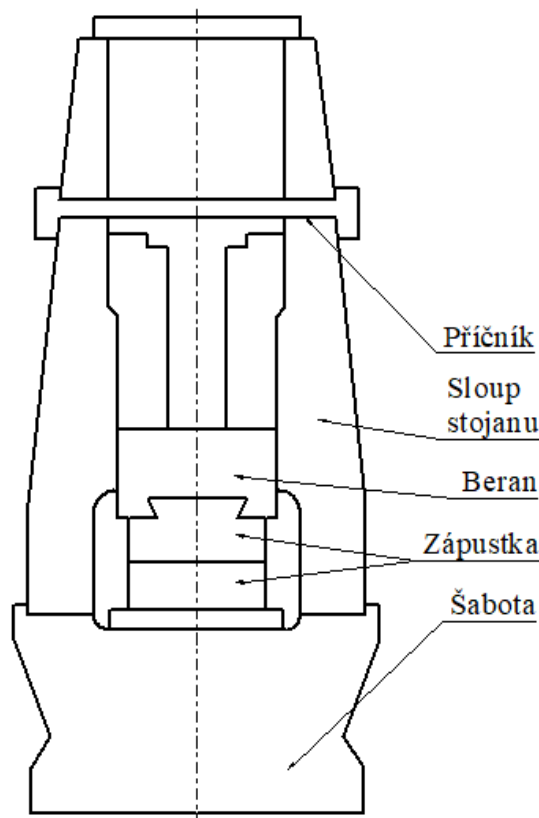
Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (B, D) [mm]		Největší výška výrobku H [mm]					
		Přes	25	40	63	100	160
		Do	40	63	100	160	250
Přes	Do	Přídavky na obrábění [mm]					
63	100	5	6	7	9	11	13
100	160	6	7	9	11	13	15
160	250	8	9	11	13	15	17

2.2 Buchary [1], [5], [39], [40], [41], [42], [43]

Jedním z kovacích strojů, které se používají u objemového tváření za tepla, je buchar. Pracuje na základě přeměny kinetické energie beranu v rázovou energii. K jejímu vybití dochází při styku vytloukacích ploch zápustky nebo při kontaktu pracující části stroje s tvářeným polotovarem, čímž dochází k jeho pěchování do nástroje. Díky možnosti kovat na více úderů může buchar zpracovat v jednom nástroji i poměrně těžké výkovky při menší rázové energii stroje. Další výhodou vyplývá ze setrvačnosti rázového účinku beranu, který napomáhá lepšímu zaplňování hlubokých dutin horní zápustky. Kováním na bucharu se docílí lepšího povrchu výkovku, protože okuje vzniklé během ohřevu při prvním úderu odpadnou. Nespornou výhodou je i fakt, že princip bucharu umožňuje snížit jeho hmotnost a rozměry až o čtvrtinu hmotnosti lisu, díky tomu nejsou náklady na pořízení zařízení tak vysoké. Mezi významné nevýhody patří negativní působení na okolní prostředí právě vlivem úderů, jež vyvolávají chvění – řeší se to vybudováním dostatečně velkých základů. Během pracovního cyklu je chod stroje značně hlučný – další nevýhoda. Špatně se řadí do automatizovaných linek, ale i přesto nacházejí ve strojírenském průmyslu velkého uplatnění.

Konstrukce bucharů se liší podle použitého pohonu mechanismu na zdvih a urychlení beranu. Vychází však z několika společných rysů, viz obr. 19, jež jsou pro ně typické. V první řadě se jedná o stojan stroje, na kterém jsou připevněny další části, a dva sloupy, jež zajišťují dostatečnou tuhost stroje. V jeho spodní části se nachází šabota – podobná stolu, sloužící k upnutí nástroje. Nad upínacím a pracovním prostorem se nachází beran, obsahující upínací plochu pro horní díl nástroje, spojený s pístnicí, zajišťující jeho pohyb. Mnohdy bývá mezi sloupy a beranem umístěno vedení k zpřesnění výroby. Posledním prvkem, který nejvíce odlišuje jednotlivé druhy bucharů, je pohon pístnice. Je umístěn mimo pracovní prostor nad sloupy, od zbylých částí jej odděluje příčník (ocelová traverza) – existují buchary, u nichž se nemusí vyskytovat. Vzhledem k použití různých typů hnacího média se buchary dělí na:

- Padací – fungující na prostém využití gravitace. Beran padá volným pádem z horní úvratě na materiál a dopadem ho kove. Následuje vytažení znovu do horní polohy a celý proces se opakuje. V minulosti byly používány různé mechanismy – například řemenový, u něhož byla řemenice poháněna elektromotorem, která unášela kladičkou přitlačený řemen, čímž došlo ke zvednutí do horní polohy a uvolněním mechanismu nastal pád beranu. Jelikož je zde použito mechanické ovládání a úder není nijak urychlen (obvykle bývá 10 až 30 úderů za minutu), nedosahuje stroj takové produktivity jako ostatní. Primárně nachází uplatnění v kusové nebo malosériové výrobě, zaměřené na malé součásti.



Obr. 19 Konstrukce bucharu

- Protiběžné – nebo také bezšabotové či protiúderové. Proti ostatním strojům nemá protiběžný buchar šabotu, místo ní se nachází spodní beran, který je spojen mechanicky, hydraulicky či pneumaticky s horním beranem a pohybuje se proti němu. Spodní beran mívá větší hmotnost, aby došlo vrácení horního beranu do horní úvratě. Dá se říct, že se jedná o dva dvojčinné buchary spojené do jednoho. Díky tomu je možné kovat stejnou energií při poloviční celkové hmotnosti ve srovnání s dvojčinným pneumatickým bucharem. Další nespornou výhodou je i fakt, že během kování dochází k úderu v polovině rámu, což znamená že vybitá energie se nepřenáší do stroje, eliminuje se negativní ovlivnění okolí. Používají se ke kování velkých výkovků. Na obr. 20 se nachází protiběžný buchar od německé firmy Lasco s naznačenou úrovní podlahy (šedá barva) a manipulátorem.
- Pneumatické – někdy označované jako kompresorové. Jsou poháněné stlačeným vzduchem z kompresu, který je součástí konstrukce stroje. Beran spojen s pístem pneumatického válce přes vzduchové kanálky. Otáčením klikové hřídele na elektromotoru se přes ojnici přenáší pohyb na píst a dále na horní část beranu. Nejzastoupenějším druhem kompresorového bucharu je dvojčinný – pohyb stroje urychlován v obou směrech. Velmi používané pro svou jednoduchou obsluhu.
- Hydraulické – k pohybu beranu využívají tlaku kapaliny. Nad příčnickem se nachází hydraulický válec, do kterého se čerpadlem vhání tlakové médium z nádrže, umístěné mimo stroj. Dochází k urychlení beranu, čímž se zvýší rázová energie a polotovar se lépe napěchuje do nástroje, rychlost závisí na velikosti tlaku v pístnici. Urychlení probíhá i při návratu pohyblivé části do horní úvratě – hovoří se tak o dvojčinném bucharu. Vzhledem k složitým, rozsáhlým hydraulickým systémům zabírá stroj značné místo, i přesto je velkým přínosem a hojně se využívá v praxi pro svou vysokou účinnost a širokou paletu využití. Na obr. 21 je ukázka bucharu s odpruženým rámem, aby se zamezilo chvění okolí v průběhu kování, a manipulátorem, šedá barva odkazuje na úroveň podlahy.
- Pneumaticko-hydraulické – spojují výhody protiběžných a klasických šabotových bucharů. Beran je poháněn stlačeným vzduchem, jenž se vhání do kompresorového prostoru nad příčnickem, stejně jako je tomu u kompresorových bucharů. Aby se zamezilo rázům a ovlivňování okolí, nachází se u paty stojanu pákový mechanismus ovládaný hydraulicky. Jakmile se začne beran pohybovat, aktivuje se pákový mechanismus a při styku záпустek pohltí vzniklé rázy. S výhodou se toho využívá u strojů o energii až 160 kJ, které mohou kovat velké a ploché výkovky.



Obr. 20 Protiběžný buchar [43]



Obr. 21 Hydraulický buchar [43]

2.3 Práce [2], [3], [4], [31], [39]

Zvoleným strojem je buchar, jehož hlavním parametrem je rázová práce 'A' v kJ. Jedná se o deformační energii posledního úderu beranu, kdy výkovek má největší deformační odpor při nejnižší teplotě a zároveň i největší plochu. Výpočet nárazové práce se provede podle vztahu:

$$A = 18 \cdot 1 - 0,005 \cdot D_D \cdot 1,1 + \frac{2^2}{D_D} \cdot 0,75 + 0,001 \cdot D_D^2 \cdot D_D \cdot \sigma_s [J], \quad (2.2)$$

Kde: D_D – průměr výkovku [cm],

σ_s – mez pevnosti materiálu za kovacích teplot [MPa].

Ke kompletnímu výpočtu je nutné znát ' σ_s ', neboli mez pevnosti materiálu za kovacích teplot. Určuje se z diagramu závislosti pevnosti oceli na teplotě, viz Příloha 1.

Pěchuje-li se válcové těleso s konstantním objemem ' V ' a středním přetvárným odporem ' σ_{ps} ', pak se práce potřebná pro spěchování původní výšky ' h_0 ' o ' d_z ' počítá následovně:

$$dA = F \cdot d_z = S \cdot \sigma_{ps} \cdot d_z = V_{výk} \cdot \sigma_s \cdot \frac{d_z}{h_0 - z} [J], \quad (2.3)$$

Kde: F – velikost kovací síly [N],

d_z – rozměr, o který se změní výška výkovku po úderu [mm],

S – průřez výkovku [mm²],

σ_{ps} – střední přetvárný odpor za kovací teploty [MPa],

$V_{výk}$ – objem výkovku [mm³],

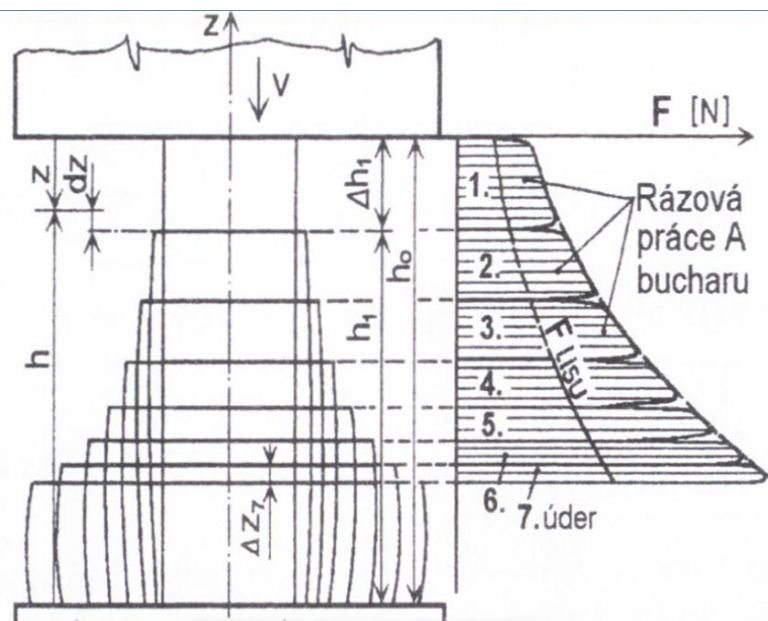
z – spěchovaná výška [mm].

Po integraci, kdy se výška ' h_0 ' spěchuje na výšku ' h ', je výpočet pro přetvárnou práci:

$$A = V_0 \cdot \sigma_{ps} \cdot \int_{h_0}^h \frac{d_z}{z} = \frac{1}{100} \cdot V \cdot \sigma_{ps} \cdot \ln \frac{h_0}{h} [J] \quad (2.4)$$

Velikost práce je plocha ohraničená křivkou průběhu přetvárné síly. Z toho vyplývá, že průběh křivky kovací síly je derivací přetvárné práce, viz obr. 22. S každým dalším úderem bucharu roste přetvárný odpor materiálu, protože beran působí na stále se zvětšující plochu výkovku. Při posledním úderu je odpor nejvyšší a to proto, že se zvětšují styčné plochy mezi beranem a čelem výkovku doprovázené vznikem pasivního tření.

Při porovnání bucharu a lisu se došlo k závěru, že pro stejné těleso se stejnou spěchovanou výškou, je hodnota práce dvojnásobná oproti kovací síle. Důvodem je překonávání elastických deformací a vyšších rychlostí deformace, což je doprovázeno zvýšením deformačního odporu. Dále se musí brát v potaz i pasivní tření mezi beranem a styčnou plochou výkovku.



Obr. 22 Grafické znázornění průběhu síly a práce [3]

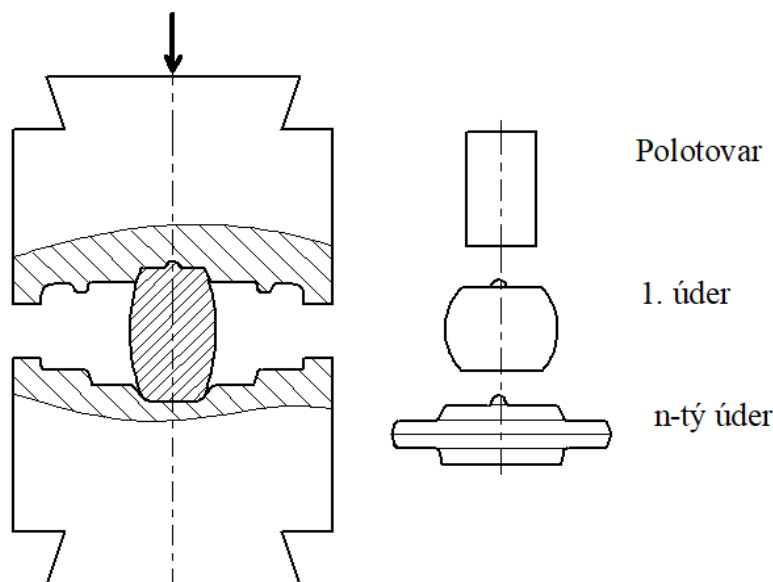
2.4 Zápustka [1], [3], [4], [5], [24], [25], [44], [45]

Při konstrukci zápustky se vychází z výkresu výkovku, charakteru použitého materiálu – primárně se řeší stupeň tvařitelnosti, a zvoleného bucharu, u kterého je určena výška zápustky výrobcem. Tvar výkovku dále ovlivňuje, zda bude postačovat jednodutinový či postupový nástroj, protože platí zásada, že materiál by měl být deformován vždy pouze v jednom směru.

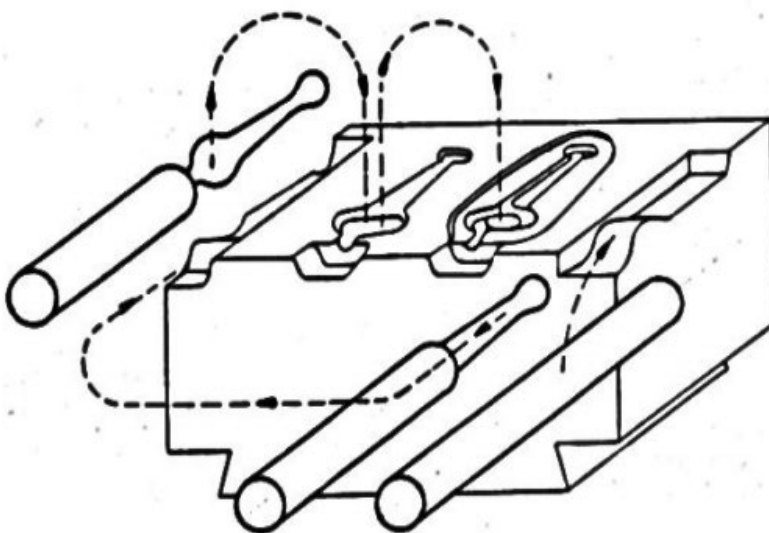
Jednodutinová zápustka se používá pro kování velkých nebo těžkých výkovků, u nichž by manipulace byla velmi obtížná, nebo pro tvarově složité výkovky, zhotovené z volně kovaného polotovaru. Případně se jich používá pro malosériovou výrobu, kde se ekonomicky nevyplatí pořizovat nákladný a složitější postupový nástroj. Jak z názvu vyplývá, zápustka obsahuje pouze jednu dutinu – dokončovací, která je zvětšena o hodnotu smrštění vychladlého výkovku, obvykle se jedná o 1 až 3 % v závislosti na použití materiálu polotovaru, například pro uhlíkovou ocel ČSN 12 050 se volí hodnota smrštění 1 %.

Na Obr. 24 je znázorněn průběh kovacího procesu v jednodutinové zápustce – po vložení ohřátého polotovaru do kovacího prostoru se tváří několika údery, dokud není zcela zaplněna dutina následuje vyjmutí a další potřebné operace. Zároveň obrázek ukazuje umístění dutiny v ose bucharu, protože materiál postupným chladnutím zvyšuje svůj přetvárný odpor a současně zvětšuje plochu v dělicí rovině, musí být použita větší energie úderu k jeho přetvoření.

Použití postupového nástroje se bere v úvahu u velkých sérií výrobků, pokud to umožňuje váha, velikost a tvar výkovku. Zásadní výhoda spočívá v rychlé výrobě, kdy se polotovar překlápí z jedné dutiny do druhé v jednom stroji (**obr**), případně se zhotoví linka strojů, kde každý stroj dělá jen určitý sled operací. Nástroj se skládá předkovacích dutin a dokončovací dutiny.



Obr. 24 Jednodutinová zápustka [26]



Obr. 23 Vícedutinová zápustka [3]

Předkovací dutiny přetvářejí polotovary tak, aby co nejlépe vyplnili a zmenšili opotřebení poslední dutiny. U složitých výkovků obsahujících žebra, obtížné přechody atd, usnadňuje tváření materiálu. Nejčastěji prováděnými operacemi jsou přechování – zvětšení průřezu na úkor výšky tělesa z důvodu lepšího zaplnění dutiny, prodlužování – vhodné pro součásti dlouhých tvarů, zužování a ohýbání či dělení. Konstrukce dokončovací dutiny je shodná s jednodutinovými zápustkami a taktéž se umísťuje co nejblíže středu celého zápustkového bloku.

Důležitou podmínkou je výběr vhodného materiálu nástroje. Vzhledem k pracovním podmínkám – musí splňovat požadavky na práci za zvýšených teplot, vzhledem k druhu stroje musí zvládat i vysoké tlaky a rázy, navíc dochází k intenzivnímu tečení materiálu, tudíž musí být i značně odolný proti opotřebení. Do volby materiálu vstupují i takové věci jako je velikost výrobní série – čím větší, tím kvalitnější materiál zápustky, druh zpracovávané oceli výkovku nebo tvar dutiny. Nejpoužívanějšími oceli jsou nástrojové chromniklové oceli 19 552, 19 662, 19 663. V Tabulce 7 se nachází výběr použitelných ocelí spolu s jejich vlastnostmi a typem použití.

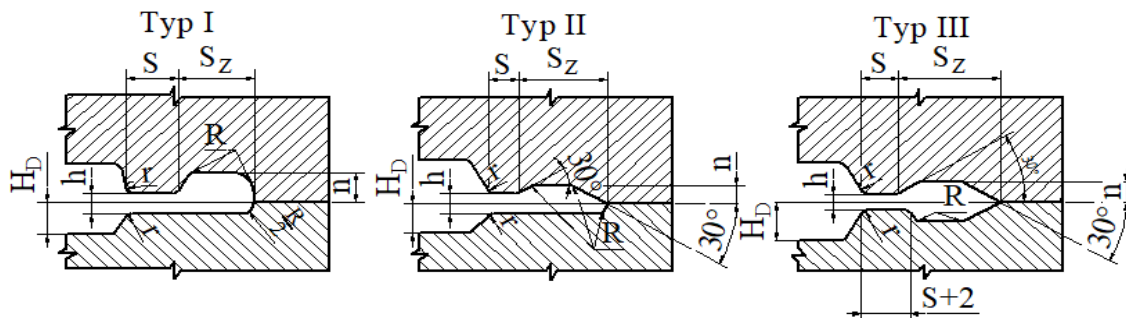
Tabulka 7 Příklady používaných zápustkových ocelí [44]

Označení	Vlastnosti	Charakteristické použití
19 103	odolnost proti úderům, malá pevnost za tepla	menší a méně namáhané zápustky s tvrdším povrchem a mělkou dutinou
19 152	velká houževnatost a odolnost proti úderům, malá pevnost za tepla	
19 552	dobrá pevnost za tepla, odolnost proti tlaku, úderu opotřebení a teplené únavě	malé zápustky a vložky (čepy, trny) při větším tepelném namáhání pro buchary lis
19 662	velká houževnatost a odolnost proti změnám teploty, dobrá pevnost za tepla	zápustky pro buchary s hlubokou dutinou a pevností pod 1 300 MPa, vložky a razníky pro vodorovné kovací lis
19 663	velká houževnatost, odolnost proti změnám teploty, dobrá pevnost za tepla	zápustky pro buchary s pevností nad 1 300 MPa, s hlubokou a tvarově členitou dutinou, vložky a razníky pro svislé kovací lis

2.4.1 Výronková drážka [1], [32], [44], [45]

Výronková drážka se nachází po obvodu výkovku v dělicí rovině zápustky. Tvoří ji brzdicí můstek 'S', výška můstku 'h', zaoblení přechodu zápustky 'r' a zásobník 'Sz'. Můstek slouží jako hlavní regulátor tlaku, zvyšuje odpor materiálu proti vtečení do drážky, čímž napomáhá dokonalému zaplnění dutiny. Hlavním tlakovým činitelem je výška, jestliže se zmenší, dojde ke snížení prostoru mezi horní a spodní zápustkou, čímž se zvýší tlak na materiál, který pak nemá tendenci vytékat mimo kovací dutinu. Po skončení kování usnadňuje ostřížení výronku – stříh probíhá v rovině kolmé na nejtenčí místo průřezu, výsledná střížná síla je pak menší. Přebytný materiál se postupně hromadí v zásobníku, který se obvykle umísťuje do horního bloku zápustky, zaplnění bývá od 50 do 70 % dle velikosti polotovaru. Jelikož buchar pracuje s rázovou energií, která musí být někde vybita, konstruuje se výronková drážka jako uzavřená a je obklopena takzvanými vytloukačemi či styčnými plochami – slouží k pohlcení a rozptýlení přebytné energie. Aby nedošlo k přechování nástroje nebo poškození stroje, platí podmínka, že na jednu tunu hmotnosti beranu připadá minimálně 300 cm² těchto ploch. Na Obr. 25 jsou uvedeny různé tvary drážek

specifikovány normou ČSN 22 8308. Typ první a druhý jsou nejzastoupenější, typickým znakem je zásobník umístěný v horní zápustce. Pokud je to z technologického hlediska nutné, může se nacházet i ve spodní. V případě třetího typu se jedná o symetrickou drážku jak ve spodní, tak v horní zápustce a používá se u tvarově složitých výkovků, u nichž se předpokládá, že nastane vyšší přebytek materiálu.



Obr. 25 Tvarv výronkových drážek [44]

Velikost výronkové drážky se volí z tabulkových hodnot, kde se nejprve vypočte hodnota výšky můstku 'h' a následně se k ní na příslušném řádku přečtou zbylé údaje podle druhu použití operace, viz Tabulka 8. Výška můstku se vypočte podle rovnice:

$$h = 0,012 \div 0,015 \cdot \sqrt{F_D} [\text{mm}], \quad (2.5)$$

kde: hodnota 0,012 se volí pro velké výkovky a hodnota 0,0015 pro malé výkovky,
 F_D – průmět plochy výkovku do dělicí roviny [mm].

Tabulka 8 Hodnoty výronkové drážky [32]

		Pěchování			Protlačování – jednoduché			Protlačování – složité		
h	n	S	Sz	$F_{v\ddot{y}r}$	S	Sz	$F_{v\ddot{y}r}$	S	Sz	$F_{v\ddot{y}r}$
0,8	3	6	20	0,69	7	22	0,77	9	25	0,88
1,0	3	7	22	0,80	8	25	0,91	10	28	1,04
1,6	3,5	8	22	1,02	9	25	1,13	11	30	1,55
2,0	4	9	25	1,36	10	28	1,53	12	32	1,77
3,0	5	10	28	2,01	12	32	2,33	14	28	2,78

Ve výše uvedené tabulce se nenachází velikost zaoblení přechodu mezi dutinou a můstkem, proto se musí dopočítat podle rovnice:

$$r = \frac{\sqrt{F_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D [\text{mm}], \quad (2.6)$$

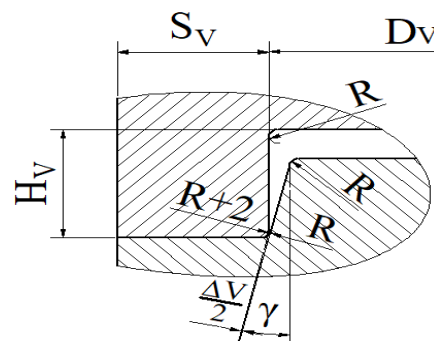
kde: H_D – výška spodní dutiny do poloviny výšky můstku [mm].

2.4.2 Vedení [1], [5], [32], [44], [45]

Vedení se primárně používá u jednodutinových zápustek, a to z důvodu nedostatečného zaručení přesnosti při pohybu beranu, navíc zamezuje vzájemnému vyosení jednotlivých částí nástroje. U postupových zápustek není vhodné vedení používat, protože značně omezuje manipulaci s výkovkem. Mezi druhy vedení patří:

- Zámky – zachycují posouvající síly, které vznikají primárně u lomených dělicích rovin. Jejich eliminace je možná buď zrcadlovým umístěním druhého dílu do dutiny nebo úpravou polohy výkovku tak, aby krajní plochy ležely v totožné rovině. Další možností je použití zámků, pakliže není možné uskutečnit jednu z výše uvedených úprav. Zámek zachytává boční síly, čímž zároveň i centruje přesazení

- b) Kruhové – také se mu říká obvodové, jelikož se nachází po obvodu zápustky, viz Obr. 26. Používá se pro kruhové výkovky a u tvarů, které jsou symetrické podle dvou vodorovných os. Vyznačuje se úhlem vedení 'γ' o velikosti 3 až 5°, který slouží k přesnému navedení horního dílu nástroje. Dále je charakterizováno výškou 'H' a poloměrem 'R' v přechodech. Jestliže se použije tento typ vedení, musí být na jedné straně vybrání pro zakládání a vyjímání výkovku, takzvaná úchytká.

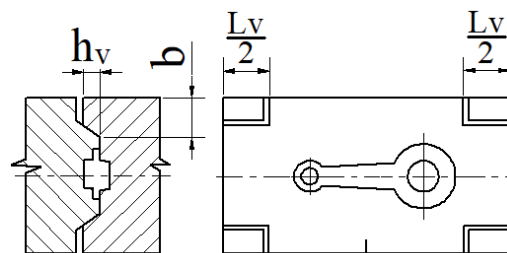


Obr. 26 Kruhové vedení [32]

- c) Podélné, příčné a křížové – zejména výhodné pro obdélníkové tvary zápustek. Uplatnění nacházejí primárně při kování přesných nízkých výkovků, které mají podlouhlý tvar. Používají se pro vymezení přesazení v příčném nebo podélném směru, případně jejich kombinace – křížové vedení, které vymezuje polohu v obou směrech, viz Obr. 27. V Tabulka 9 jsou uvedeny vůle a tolerance pro tato vedení.

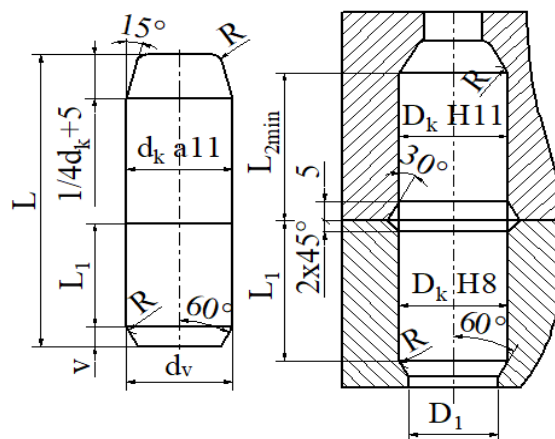
Tabulka 9 Vůle, tolerance vedení [44]

D _v (L _v) [mm]	Δv	Tolerance
do 300	0,4	+0,2
301 až 600	0,8	+0,3
601 až 1 000	1,6	+0,5
1 001 až 1 500	2,4	+0,8



Obr. 27 Křížové vedení [44]

- d) Vodicí kolíky – zachycují tlaky namáhající vedení bucharu (obr. 28). umísťují se zpravidla po jednom do každého rohu nástroje nebo do diagonály, jsou-li pouze dva. Jejich použití se nechodí pro postupové zápustky, protože dochází ke zhoršení manipulace s výkovkem a zároveň se zvyšuje riziko zranění pracovníka. Minimální vzdálenost kolíku od hrany zápustky se vypočte podle vztahu:



Obr. 28 Vodicí kolíky [32g]

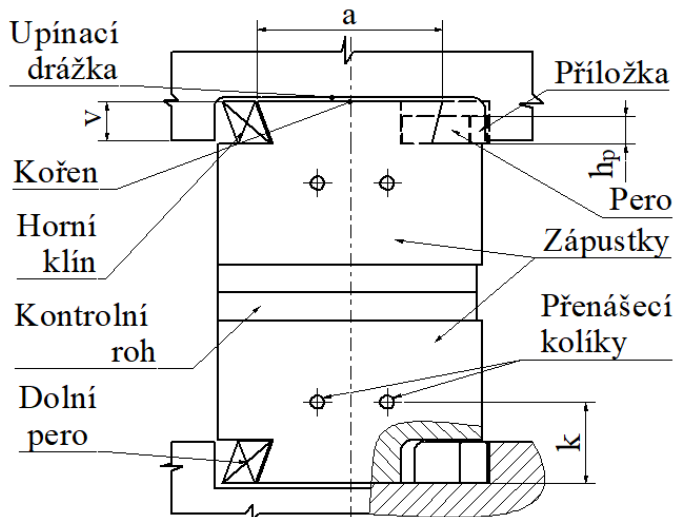
$$a_v = \frac{5}{6} \cdot d_k + 10 \text{ [mm]}, \quad (2.7)$$

kde: d_k – průměr vodícího kolíku [mm].

V praxi kruhové, podélné, příčné a kombinované vedení téměř nenacházejí uplatnění kvůli relativně velké spotřebě zápustkového materiálu. Nejenže jsou náročná na výrobu, ale zároveň se velmi patně opravují, zejména křížové vedení, u něhož hrozí ulomení některé z přečnávajících částí.

2.4.3 Upnutí ve stroji [5], [17], [31], [45], [46]

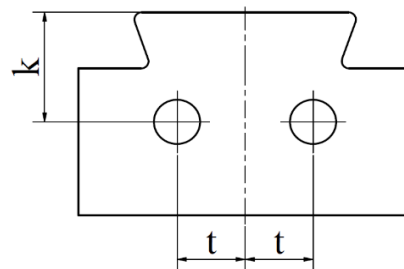
Bucharové zápustky se upínají samostatně do beranu a šaboty, případně do dolního beranu. Upínání, které je normalizované (norma ČSN 21 1410), se provádí přes rybinu zápustky a rybinové drážky, umístěné v šabotě a beranu. Vymezení polohy z boku je uskutečněno přes klíny, vložené mezi rybinu a drážku. Klín má kuželovitost 1:100, s úkosem jedné stěny 10° a druhé 12°. Vkládají se do drážky buď z jedné strany nebo z obou stran kořene. Pro přesnější vymezení polohy se používají příložky, umísťované podle potřeby do perodrážky. K zamezení axiálního pohybu u padacího bucharu slouží pero uložené v perodrážce v kořeni zápustky kolmo na rybinu. V případě



Obr. 29 Upínání zápustek [44]

protiběžných bucharů se používá jistící čep, založený v dosedací ploše kořene a rybinové drážky. Rozměry upínacích částí se volí na základě jmenovité energie bucharu. Pokud se kove v malé zápustce na stroji větším, než je potřeba, umísťuje se nástroj do takzvaných držáků, sloužících jako redukce mezi upínacími plochami. Jestliže zápustka neobsahuje vodící kolíky, nebo obecně žádné vedení, dělá se kontrola souososti podle tzv. kontrolního rohu – kolmá opracovaná plocha na bočních stěnách zápustky o hloubce 5 mm a výšce 50 až 60 mm. Na obr. 29 je uveden příklad upnutí zápustky v padacím bucharu s kontrolním rohem.

K manipulaci slouží přenášeční kolíky, zasazené do otvorů v těle nástroje. Umísťují se tak, aby úhel mezi kolíkem a rybinou byl značně jiný než 45°. Velikost se odvíjí od hmotnosti nástroje (jednoho dílu) a maximálního dovoleného zatížení jednoho kolíku. Běžný počet jsou čtyři kolíky, zabráňující točení nástroje během manipulace ve vzduchu. Například zápustky o hmotnosti do 2 000 kg se používají kolíky o průměru $d_k = 25$ mm. Základní rozměry podle normy ČSN 21 1413 uvádí obr. 30 – patří sem rozteč, vzdálenost osy otvoru pro kolík od kořene zápustky a hloubka jednotlivých otvorů.



Obr. 30 Otvory pro kolíky [46]

Rozteče, označeny písmenem 't', se počítají podle vztahu:

$$t = \frac{a}{4} [mm], \quad (2.8)$$

kde: a – šířka kořene rybiny [mm].

Vzdálenost 'k' se určuje:

$$k = 1,5 \cdot h_2 [mm], \quad (2.9)$$

kde h_2 – výška rybiny [mm].

Jako poslední se počítá hloubka otvorů dle vztahu:

$$L = 2 \cdot d_k [mm], \quad (2.10)$$

kde: d_k – průměr přenášečního kolíku [mm].

2.4.4 Předehřev, mazání a chlazení [5], [47], [48]

Před zahájením samotného kování musí být provedena příprava zápustky, která zajišťuje zlepšení kovacích podmínek. Skládá se z předehřevu nástroje a průběžného aplikování maziva do zápustkové dutiny.

Předehřev, respektive jeho teplota, se řídí podle chemického složení nástroje, aby nedošlo k negativnímu dopadu na vlastnosti nástroje. Ohřevem na teplotu od 200 do 300 °C, někdy i více, se zápustka dostává na takzvanou pracovní teplotu, která se udržuje po čas celého technologického procesu. Díky ní se zajišťuje snížení tepelného namáhání na začátku kování, protože nedochází k výrazným tepelným rozdílům výkovku a dutiny, čímž by mohlo vzniknout pnutí a možné prasknutí nástroje v průběhu kovacího procesu. Dalším pozitivním jevem je zmenšení tepelných ztrát výkovku, čímž je výkovek déle kujný. Předehřev se provádí několika způsoby – nejvyužívanějším způsobem je použití plynových hořáků (umístěny přímo v kovací dutině zápustky, takže odpadá nebezpečná manipulace s teplým břemenem, způsob je produktivnější) nebo se využívá ohřev celého nástroje ve vozové komorové peci, převážně elektrické (má to však nevýhodu ve ztížené manipulaci při upínání zápustky do bucharu).

Ke zlepšení kování se používá mazání zápustek, jež snižuje tření mezi nástrojem a tvářeným polotovarem, usnadňuje vyjímání výkovku a zároveň prodlužuje životnost nástroje. Prodloužení životnosti nástroje se odvíjí od velikosti tření v dutině, čím je menší, tím se snižuje deformační odpor materiálu a zároveň dochází ke snížení opotřebení v nejnamáhanějších místech. Mezi základní požadavky na mazivo patří jeho odolnost proti vysokým teplotám (až 1 200 °C) a schopnost během nich vykonávat svou funkci. Další nezbytnou vlastností je dobrý unášivý účinek – tedy neulpívání okujů v dutině, aby nedošlo k jejich zakování. Vzhledem k teplotě okolí nesmí být mazivo zdraví ohrožující, aby se zabránilo vdechnutí možných nebezpečných výparů pracovníkem u stroje. U zápustkového kování se nejlépe osvědčil grafit jako mazivo a voda jako chladicí prostředek, jejich spojením vznikají vodnaté grafitové suspenze. Dále se používají piliny (hlavně v minulosti), soli a různé druhy skla, které mají dobré izolační vlastnosti, což se hojně uplatňuje u tenkostěnných výkovků. Aplikace se provádí namáčením nástroje v lázni, popřípadě natřením a zaschnutím filmu v průběhu kovacího procesu obvykle před vložením polotovaru nebo jednou za určité množství hotových výkovků.

Nástroje, u nichž dochází k vysoké kadenci kování, vyžadují chlazení, aby se zamezilo možnému povrchovému vyhřátí a značnému popuštění, doprovázené poklesem pevnosti. Chlazení je aplikováno na místa s nejvyšším rizikem přehřátí, to znamená na pracovní dutinu a trny. Realizuje se několika způsoby, závislými na konkrétním případě, může se jednat například o vodní sprchu v mezičase zakládání polotovaru, případně se používá tlakového vzduchu, jež zároveň odstraní okuje.

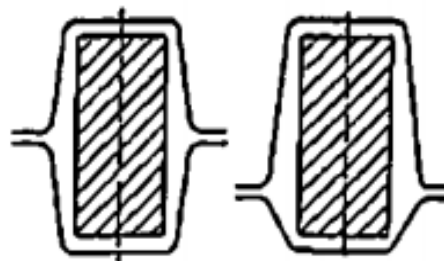
2.5 Technologičnost výkovku [5], [42], [47], [49]

Ve všech odvětvích průmyslu nachází výkovek všestranného využití ať už jako polotovar či jako finální výrobek. Jako takový tudíž musí splňovat jisté předpoklady pro plnění potřebných funkcí, jedná se primárně o makrostrukturu materiálu, jeho mechanické vlastnosti a životnost. Toto všechno spadá pod takzvanou technologičnost výkovku – souhrn pravidel, která umožňují upravovat tvar výkovku na základě možností použité výrobní technologie. V první řadě se musí brát ohled na:

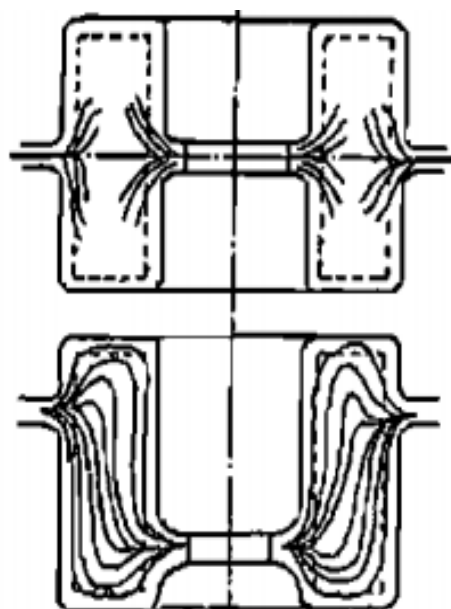
- funkční požadavky součásti – přesnost dílu, tvar a požadavky dle návrhu zákazníka,
- výrobní požadavky – velikost série, možnosti kovárny,
- ekonomické požadavky – náklady na výrobu, vývoj.

Při konstrukci platí další pravidla, která do jisté míry omezují tvar, čímž se zároveň upravuje i technologičnost výkovku. Pravidla ovlivňují:

- polohu dělicí roviny – kdy se za nejideálnější považuje rovina přímá, která by měla dělit výkovek ve všech jeho částech na dvě, pokud možno, stejně velké části. Díky tomu stačí minimální výška bloku záпустky, čímž se ušetří materiál. Na obr. 31 vlevo je úkos umístěn v obou polovinách nástroje symetricky, což snižuje výkovku oproti nesymetrickým dutinám, viz obr. 32 vpravo. V případě dělicí roviny lomené se zamezuje vzniku bočních sil a přesazení výkovku takzvanými zámky, nebo se použije dvou symetrických výkovků tak, aby se boční síly navzájem vyrušily. Dalším požadavkem je zabezpečení správného toku materiálu a zamezení vzniku defektů (přeložky, zákovky) a minimální spotřeba materiálu. Pokud se jedná o výkovek s vnitřní dutinou, neměla by mít roviny vedeny shodně, jak je ukázáno na obr. 32 nahoře, protože by pak hrozilo nadměrné zatečení materiálu do výronkové drážky, což platí primárně u hlubokých dutin. Na obr. 32 dole je navíc patrné, že se lépe usměrňují vlákna. Navíc při ostřížení výronku a kovací blány lze použít nástroj, v němž bude provedeno oddělení postupně, čímž se sníží výsledná střižná síla.



Obr. 31 Umístění úkosů [49]

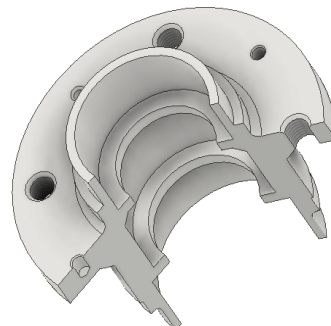


Obr. 32 Poloha dělicí roviny [49]

- Technologické přídatky – jenž jsou dány charakterem použité technologie. Jedná-li se o složitý tvar výkovku, například několikanásobné osazení průměru či hluboká vnitřní kapsa, umístí se do těchto míst technologické přídatky, které zajišťují výrobnost daného kusu. Velikost přídatku se odvíjí od složitosti tvaru, a hlavně od velikosti série – v případě malé série je neekonomické kopírovat tvar, proto se použijí úkosy, které se následně odstraní obráběním. Dále platí pravidlo o předkování otvorů – je-li otvor menší než 10 mm po aplikování přídatků na obrábění, nepředkovává se a vyrobí se dodatečně.
- Úkosy – jež se dělí na vnější a vnitřní, které bývají větší. Jedná-li se o hluboké dutiny se volí úkosy menší než pro dutinu mělkou. V případě předkovací dutiny jsou naopak větší. Velikosti se volí podle normy ČSN 42 9030 a liší se podle použitého stroje a kovaného materiálu.
- Poloměry zaoblení – které se vytvářejí ve směru pohybu beranu. Mají zásadní vliv způsob tečení materiálu v dutině a na její zaplňování. Zabraňují koncentraci napětí v ostrém rohu – vrubu. V tabulkách uváděny minimální rozměry zaoblení.
- Tloušťku stěn – která se hlavně projevuje u požadované tuhosti a funkčnosti výkovku. Musí splňovat požadavky nízké spotřeby materiálu a vyšší tvarové přesnosti.

3 NÁVRH VÝROBY [10], [25], [31]

Řešeným dílcem je náboj kola přední nápravy, viz obr. 33, skládající se z příruby o průměru 120 mm a tloušťce přibližně 12 mm a z celkové výšky 93 mm. Z levé strany příruby se nachází vnitřní průměr 52 mm s tolerancí H6 a hloubce 23 mm k zalisování ložiska, na opačné straně příruby se nachází vnitřní průměr 62 s tolerancí H6 a délce 28 mm, taktéž sloužící k zalisování ložiska. Strojový park závodu se odvíjí od požadavků na výrobu a velikosti série, která činí 15 000 kusů za rok, přičemž se primárně jedná o tvářecí stroje, konkrétně buchary a ostříhovací lisy.

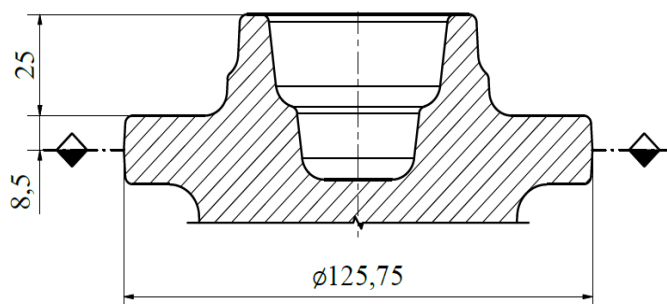


Obr. 33 3D model náboje

Kováním nelze docílit požadovaných přesností a kvalit povrchu, které jsou předepsané na výkrese součásti, proto bude použito obrábění k dokončení všech ploch. Primárně se jedná o uložení ložisek, celou přírubu ze všech dostupných stran a vnější povrch součásti, sloužící k vymezení polohy brzdy. Z pohledu technologičnosti není nutné náboj, jakkoliv upravovat, pouze došlo ke zvětšení průměru 76 na 78 mm, neboť je zbytečné vyrábět dvoumilimetrové osazení v nástroji, přídavek bude snazší odstranit navazujícími metodami.

Pro výrobní technologii zápusťkového kování se upravuje konstrukce náboje podle normy ČSN 42 9030 a dále se určují:

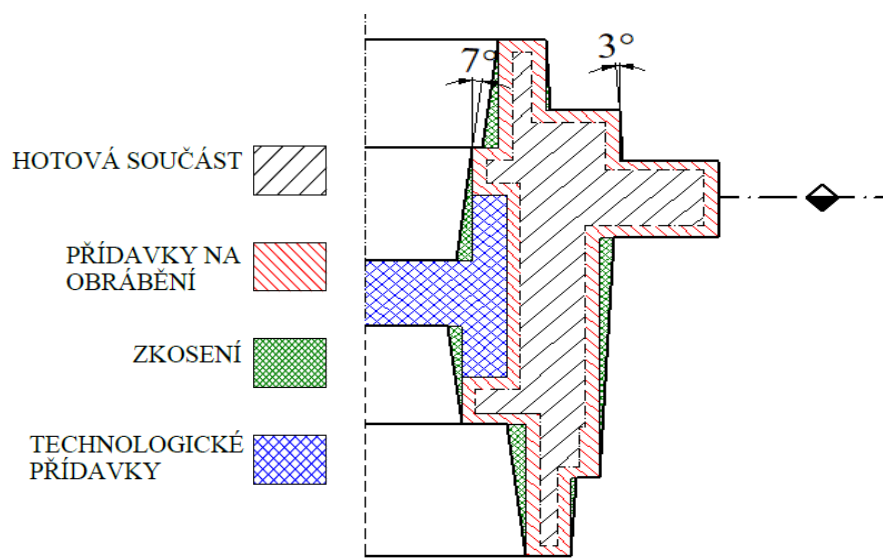
- Dělicí rovina – umístěná v nehmotnější části výkovku, zhruba uprostřed dělicí roviny, to jest 8,5 mm od jejích bočních ploch, jak ukazuje obr. 34. Literatura, odkazující se na použitý stroj – buchar, uvádí, že těžší část hotového výrobku musí směřovat směrem vzhůru od dělicí roviny, to znamená do horní zápusťky, z důvodu lepšího zaplňování díky setrvačnému účinku. V tomto případě to ale není možné, protože by nedošlo k jednoznačnému založení polotovaru do dutiny nástroje.



Obr. 34 Poloha dělicí roviny

- Přídavky na obrábění – jejichž hodnoty jsou pro celou součást stejné. Určují se na základě největšího rozměru kolmo na směr pohybu beranu – v případě náboje se jedná o průměr příruby, který je 120 mm, a největší výšku 93 mm. Podle rozměrů náboje byla hodnota přídavku určena na 2,5 mm podle tabulky 3. O přídavek jsou zvětšeny veškeré obráběné plochy. Obr. 35 ukazuje jejich grafické znázornění červeným šrafováním.
- Technologické přídavky – jenž jsou přidány na všech otvorech menších než 10 mm a na speciální dutině uvnitř součásti, která je na obr. 35 vyznačena modrým šrafováním. Zápusťkové kování neumožňuje prokovat žádný otvor, proto se využívá tzv. blány. Zvolení její tloušťky se provádí na základě:
 - největšího průměru výkovku, jenž byl zaokrouhlen na 125 mm z obr. 34,
 - největší výšky, která je rovných 98 mm.

Podle tabulky 6 je tloušťka blány 'H1' rovna 11 mm, s pomyslným středem zhruba 13 mm pod dělicí rovinou.



Obr. 35 Realizace přídaveků a úkosů

- Úkosy – slouží ke zlepšení vyjímání výkovku z dutiny. Z tohoto důvodu se umísťují na svislé stěny ve směru rázu. Určují se podle tabulky 4. Jelikož se jedná o kování na bucharu s běžně dosahovanými přesnostmi, proto byla zvolena velikost vnějšího úkosu 3° a vnitřního úkosu 7°, viz obr. 36.
- Zaoblení – nachází se na každém rohu a koutu, jenž součást obsahuje. Jejich velikost se počítá z poměru výšky stěny 'h_i' a její šířky 'f_i'. Poté se provede příslušnou výšku odečtení poloměrů zaoblení z tabulky 5. Na obr. 36 se nachází grafické provedení jednotlivých výšek a k nim náležejících šířek spolu s příslušnými poloměry.

Jejich určení probíhá následovně:

$$\text{Poměr} - \frac{h_1}{f_1} = \frac{23}{8,4} = 2,738 \rightarrow$$

z tabulky odečteno $r_1 = 2 \text{ mm}$, $R_1 = 6 \text{ mm}$,

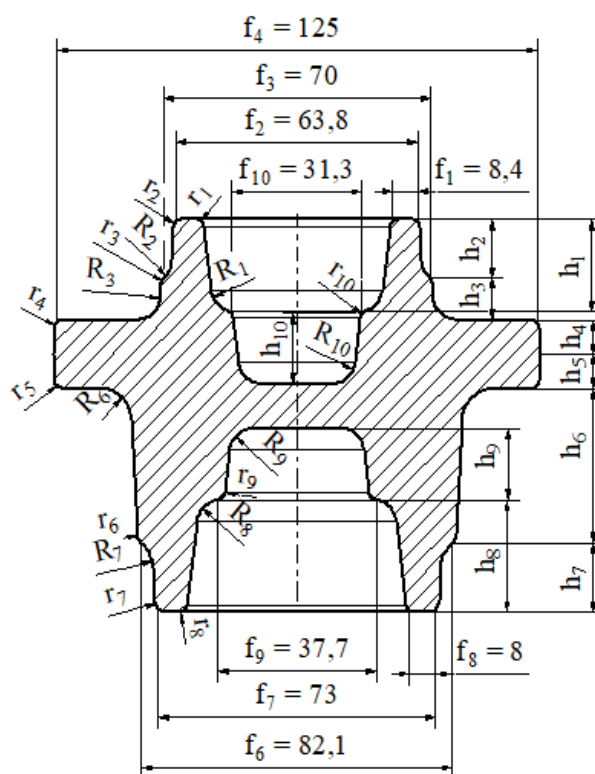
Kde: h_1 - výška stěny, v tomto případě, ložiska [mm],

f_1 - šířka plochy rovnoběžné s dělicí rovinou [mm].

$$\text{Poměr} - \frac{h_2}{f_2} = \frac{15,2}{63,8} = 0,238 \rightarrow \text{z tabulky odečteno } r_2 = 2 \text{ mm}, R_2 = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Poměr} - \frac{h_3}{f_3} = \frac{9,8}{70} = 0,140 \rightarrow \text{z tabulky odečteno } r_3 = 2 \text{ mm}, R_3 = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Poměr} - \frac{h_4}{f_4} = \frac{8,5}{125} = 0,060 \rightarrow \text{z tabulky odečteno } r_4 = r_5 = 2 \text{ mm},$$



Obr. 36 Zaoblení

$$R_4 = R_5 = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Poměr} - \frac{h_6}{f_6} = \frac{39,1}{82,1} = 0,476 \rightarrow \text{z tabulky odečteno } r_6 = 3 \text{ mm}, R_6 = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Poměr} - \frac{h_7}{f_7} = \frac{28,8}{73} = 0,394 \rightarrow \text{z tabulky odečteno } r_7 = 3 \text{ mm}, R_7 = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Poměr} - \frac{h_8}{f_8} = \frac{16,6}{8} = 0,227 \rightarrow \text{z tabulky odečteno } r_8 = 2 \text{ mm}, R_8 = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Poměr} - \frac{h_9}{f_9} = \frac{22,2}{37,7} = 0,588 \rightarrow \text{z tabulky odečteno } r_9 = 2 \text{ mm}, R_9 = 6 \text{ mm}$$

$$\text{Poměr} - \frac{h_{10}}{f_{10}} = \frac{13,5}{31,3} = 0,431 \rightarrow \text{z tabulky odečteno } r_{10} = 2 \text{ mm}, R_{10} = 6 \text{ mm}$$

3.1 Tolerance výkovku [25], [], [31], [42]

Tolerance výkovku jsou odvozeny od stupně tvarové složitosti, která se určuje podle normy ČSN 42 9002. Na **obr** je rozebrán popis již zatříděného náboje kola. Tvarová skupina, třetí pozice zleva (**obr**), byla určena na základě velikosti výšky 'H', průměru 'D_D' a tloušťky blány 'H₁' takto:

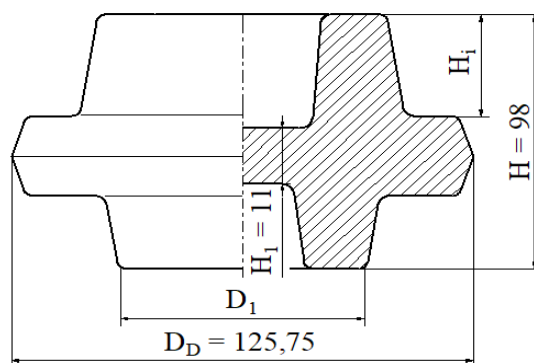
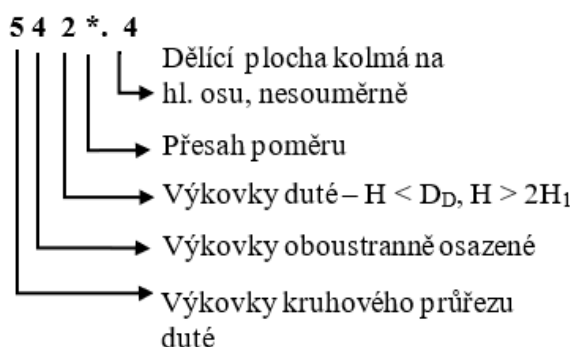
$$H < D_D \quad (3.1)$$

$$98 < 125,75$$

$$H > 2 \cdot H_1 \quad (3.2)$$

$$98 > 2 \cdot 11$$

V obou případech podmínka platí, tudíž je třetí pozice zleva obsazena číslem 2.



Obr. 38 Tvarová složitost výkovku [30]

Obr. 37 Oboustranně osazený výkovek [30]

Tabulka 10 Stupně přesnosti [31]

Rozdělení podle ČSN 42 9002					Stupeň přesnosti pro provedení					
tvarový druh	tvarová třída	tvarová skupina	tvarová podsk.	technolog. hledisko	obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥
4; 5; 6; 7	1 až 5	1; 5	0 až 9	3; 4; 5	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 4			5	6	4	5	3	4
	9	6; 7; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	1 až 8	0 až 9	6; 7; 8; 9	6	7	5	6	4	5

Přesnost rozměrů kolmých na směr rázu odpovídá stupni přesnosti 5, oranžovou barvou vyznačená pole v tabulce 11. Přesnost rozměrů rovnoběžných se směrem rázu odpovídá stupni přesnosti 6, viz oranžovou barvou vyznačená pole v tabulce 12.

Tabulka 11 Mezní úchylky pro stupeň přesnosti 5 [31]

Největší průměr výkovku D [mm]		Rozměr výkovku ve směru rázu [mm]				
		přes	25	40	63	100
		do	40	63	100	160
Přes 100 do 160	Mezní úchylky		+1,1	+1,2	+1,3	+1,4
			-0,6	-0,6	-0,6	-0,7
	tolerance		1,7	1,8	1,9	2,0

Tabulka 12 Mezní úchylky pro stupeň přesnosti 6 [31]

Největší průměr výkovku D [mm]		Rozměr výkovku ve směru rázu [mm]				
		přes	25	40	63	100
		do	40	63	100	160
Přes 100 do 160	Mezní úchylky		+1,9	+1,9	+2,0	+2,1
			-0,9	-1,0	-1,0	-1,1
	tolerance		2,8	2,9	3,0	3,2

Z výše uvedených poznatků se dále stanoví:

- Mezní úchylky rozměrů – podle tabulky 11 a tabulky 12, a sice z největších rozměrů výkovku kolmo ke směru rázu a největšího rozměru ve směru rázu s tím, že hodnoty platí pro vnější rozměry. Odečtené úchylky jsou v odpovídající tabulce vyznačeny oranžově.
- Mezní úchylky zaoblení – zaoblení přechodů a hran se určí podle normy ČSN 42 9030, viz tabulka 13. Hodnoty v tabulce se vynásobí reálnými hodnotami poloměrů. V případě poloměru menšího než 2 mm se záporné úchylky nepředepisují.

Tabulka 13 Mezní úchylky zaoblení [31]

Poloměr zaoblení [mm]		Mezní úchylky [mm]			
přes	do				
0	10	+0,50	·R	+0,25	·r
		-0,25		-0,50	

Mezní úchylky pro zaoblení se vypočítají pomocí vztahů:

$$R = R_{-0,25}^{+0,50 \cdot R} \text{ [mm]}, \quad (3.3)$$

$$r = R_{-0,50}^{+0,25 \cdot r} \text{ [mm]}, \quad (3.4)$$

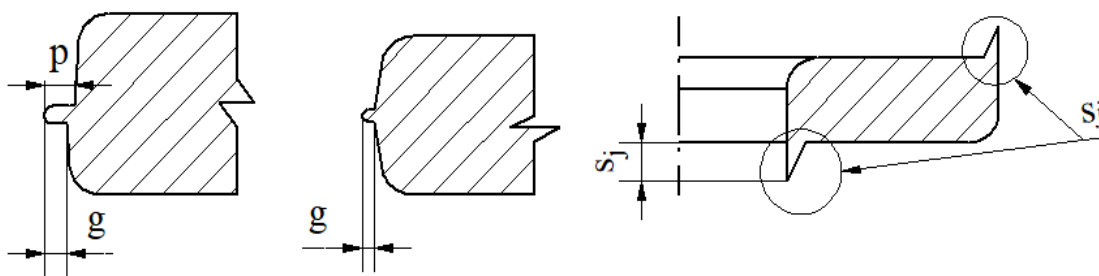
Po aplikování výše uvedených vztahu na příslušné poloměry:

- $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = R_7 = R_{10} = 6_{-2}^{+3} \text{ [mm]},$
- $R_6 = R_8 = 8_{-2}^{+4} \text{ [mm]},$
- $r_1 = r_2 = r_4 = r_5 = r_7 = r_{10} = 2_{-1}^{+0,5} \text{ [mm]},$
- $r_6 = r_8 = 3_{-1,5}^{+0,75} \text{ [mm]}.$

K úplnému určení tolerancí na výkovku musí být zvoleny i chyby tvaru, viz obr. 39, které jsou:

- Dovolené přesazení 'p' – hodnota odpovídá záporné mezní úchylce pro daný rozměr výkovku kolmo k rázu, tedy -0,6 mm. Je zapříčiněno nepřesným dosednutím zápustek na sebe.
- Dovolný otřep 'g' - hodnota odpovídá záporné mezní úchylce, tedy -0,6 mm. Vzniká při nedokonalém odstřižení výronku.
- Dovolný jehla 'sj' – hodnota rovna kladné mezní úchylce, což je v tomto případě +1,4 mm. Vzniká na okraji střížné plochy.

Hodnoty odpovídají úchylkám z tabulky 11.

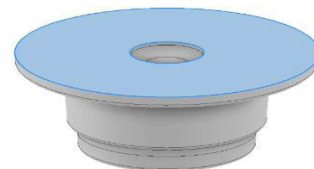


Obr. 39 Chyby výkovku [25]

3.2 Výronková drážka [3], [5], [32], [44], [45]

Kovanou součástí je náboj rotačního tvaru s oboustranným osazením, tedy nijak složitý tvar, proto byla zvolena drážka typu I podle obr. 25 můstkem umístěným v horní zápustce. Zaplnění zásobníku se pohybuje v rozmezí 50 až 70 %. Rozměry drážky vycházejí z velikosti můstku 'h'. Hodnota plochy průmětu do dělicí roviny byla určena zaokrouhleně na 11 688 mm² pomocí CAD softwaru Inventor 2021 ve studentské verze, díky němuž se značně zjednodušil a zpřesnil výpočet, viz obr. 40.

Obvod	395,070 mm
Celková délka s...	491,038 mm
Oblast	11687,576 mm ²



Obr. 40 Průmět plochy do dělicí roviny

Pro přesné určení všech rozměrů výronkové drážky z tabulky 8 se vypočte hodnota velikosti můstku podle vztahu (2.5):

$$h = (0,012 \div 0,015) \cdot \sqrt{F_D} = 0,013 \cdot \sqrt{11\,688} = 1,40 \text{ mm},$$

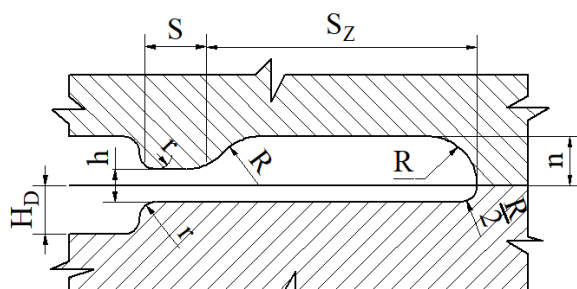
kde: 0,013 – konstanta zohledňující velikost výkovku.

Skutečná velikost výšky můstku je určena podle nejbližší vyšší hodnoty, kterou obsahuje tabulka 8, a sice 1,6 mm pro přechování. Podle ní se odečítají další rozměry, které jsou součástí konstrukce výronkové drážky, viz obr. 41.

Hodnota zaoblení přechodu dutiny do drážky se počítá podle vztahu (2.6):

$$r = \frac{\sqrt{F_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D = \frac{\sqrt{11\,688}}{200} + 0,04 \cdot 8,5 = 0,88 \text{ mm}$$

V průběhu používání nástroje dochází k jeho opotřebovávání, proto byla velikost zaoblení snížena na 0,5 mm, aby byl zajištěn dostatek materiálu pro renovaci nebo úpravu, pakliže by zkoušky prokázaly nedostatečné zaplňování dutiny.



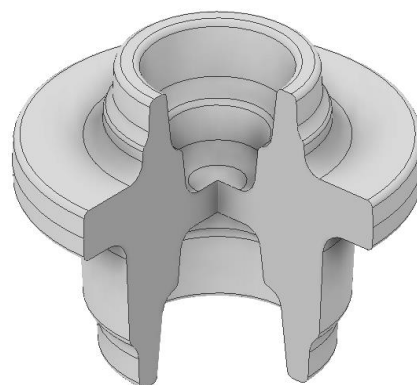
Obr. 41 Výronková drážka [32]

h = 1,6 mm,
r = 0,5 mm,
n = R = 3,5 mm,
S = 8 mm,
Sz = 22 mm,
H_D = 8,5 mm.

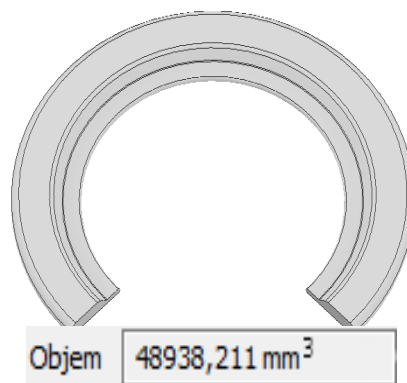
3.3 Polotovár [17], [25], [27], [29], [45], [50]

Základem pro výpočet rozměrů polotovaru je stanovení jeho celkového objemu, jenž vychází z objemu výkovku. V první řadě se určuje:

- Objem výkovku – jelikož se jedná o relativně složitý tvar, byl by výpočet zbytečně náročný a zdoluhavý. Proto byl použit k urychlení práce CAD software Inventor 2021 ve studentské verzi od firmy Autodesk. Díky předem definovaným fyzikálním vlastnostem použité nízkouhlíkové oceli 12 050 program rovnou vypočítal objem výkovku, jak je znázorněno na obr. 42. Vzhledem k nadbytečnému počtu desetinných míst byl objem zaokrouhlen na 461 271 mm³.
- Objem výronku – během kování dochází k vytlačení přebytečného materiálu do zásobníku, jehož naplnění se běžně uvažuje od 50 do 70 %. Jelikož je výkovek rotačního tvaru s poměrně hlubokou dutinou na jedné straně, bude se počítat se 70% zaplněním zásobníku. Pro vypočtení objemu byl použit stejný program jako pro výkovek, viz obr. 43, přičemž byl výsledek zaokrouhlen na 48 939 mm³.
- Velikost opalu – která závisí na velikosti plochy výkovku, na druhu použitého ohřevu (může být 0,5 až 3 %) a na druhu materiálu. Výkovek náboje bude ohříván v průchozí peci s plynovým ohřevem, u něhož se velikost opalu ‘δ’ pohybuje zhruba od 2,5 do 3 %.



Obr. 42 Objem výkovku



Obr. 43 Objem výronku

Vlastní výpočet velikosti objemu polotovaru, který je zvětšen o výkovek samotný, výronkovou drážku a opal, vypadá následovně:

$$V_0 = (1 + \delta) \cdot V_{\text{výk}} + V_{\text{výr}} \cdot 0,7 [\text{mm}^3], \quad (3.5)$$

$$= (1 + 0,027) \cdot (461\,271 + 48\,939 \cdot 0,7) = 508\,907,56 \text{ mm}^3$$

kde: $V_{\text{výk}}$ - objem výkovku [mm³],

$V_{\text{výr}}$ - objem výronku [mm³], zaplnění zvoleno 70 %,

V_{op} - objem opalu [mm³].

δ - velikost opalu, zvolena na 0,027.

Následuje kontrola štíhlosti ‘λ’, což je poměr mezi maximální výškou ‘L₀’ a největším průměrem polotovaru ‘D₀’, rozměrem kolmým na hlavní osu tělesa. Provádí se z důvodu možného nekontrolovatelného vybočení hlavní osy výkovku na začátku pěchování. Štíhlost je určena vztahem:

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = 1,5 \div 2,8 \quad (3.6)$$

Aby mohla být vypočtena štíhlost, musí být nejprve určen minimální průměr polotovaru.

Počítá se podle rovnice:

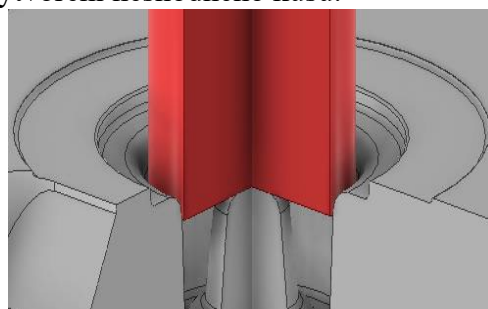
$$D'_0 = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_0}{\lambda}} \text{ [mm]}, \quad (3.7)$$

$$= 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_0}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{508\,907,56}{2,4}} = 64,402 \text{ mm}$$

kde: λ – štíhlostní poměr, který byl zvolen 2,4, protože se jedná o vysoký výkovek.

Vypočtený teoretický minimální průměr D'_0 je 64,402 mm, avšak nelze jej použít, protože zaprvé neodpovídá platným rozměrovým normám, které se používají v hutích, a zadruhé by při zakládání mohlo dojít k změně polohy a tím k vytvoření neshodného kusu.

Skutečný rozměr průměru musí být upraven na velikost 85 mm, aby odpovídal velikostem uvedených v rozměrové normě ČSN EN 10060 a zároveň jednoznačně určuje polohu založení v dutině nástroje, jak je vidět na obr. 44 – trn podpírá materiál a okolní stěny zamezují jeho kymácení. Polotovár bude dodáván firmou Feron, a.s. v celých tyčích kruhového průřezu, které jsou ocelové a válcované za tepla. Bližší údaje obsahuje tab.



Obr. 44 Založení polotovaru v

Tabulka 14 Informace o polotovaru [50]

Norma EN 10060		
Materiál	Ocel 12 050	
Jmenovitý průměr	mm	85
Plocha průřezu	cm ²	38,5
Mezní úchytky při obvyklé přesnosti	mm	±1,0
Přímot tyče	-	≤ 0,4 % z délky tyče
Ovalita	-	Nesmí překročit 75 % tolerančního pole
Hmotnost	kg·m ⁻¹	30,2

Následně se pro zvolený průměr ' D_0 ' vypočte délka ' L_0 ' podle rovnice:

$$L_0 = \frac{4 \cdot V_0}{\pi \cdot D_0^2} \text{ [mm]} \quad (3.8)$$

$$= \frac{4 \cdot V_0}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{4 \cdot 508\,509,56}{\pi \cdot 85^2} = 86,68 \text{ mm}$$

Kde: D_0 – skutečný průměr polotovaru, který byl zvolen 85 mm.

Podle pravidel by měla následovat kontrola štíhlosti, zda vypočtený průměr a výška splňují požadavky na pěchování. Jelikož byl průměr upraven kvůli technologickým požadavkům metody kování, nelze jej provést, a proto bude ' λ ' experimentálně zkontrolováno až v rámci testovací série.

K dělení bude použito řezání na pásové pile, proto se zvolila délka 91 mm, která zajišťuje dostatečný přídavek jak na obrábění, tak na samotné kování. Konečný polotovár má velikost Ø85 - 91 mm, dodávaný v tyčích o obvyklých délkách 6 m.

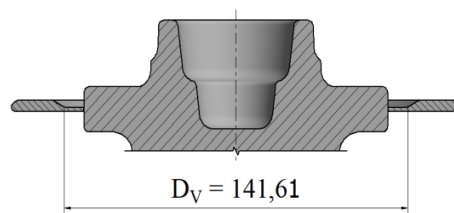
3.4 Buchar [1], [17], [41], [51], [52], [53], [54]

Volba stroje závisí primárně na velikosti výkovku, jeho tvaru a použitém materiálu. Ke zjištění potřebné energie úderu pro kruhový výkovek se použije vztah [(2.2)]:

$$\begin{aligned}
 A &= 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_V) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_V}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_V^2) \cdot D_V \cdot \sigma_s \\
 &= 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot 14,16) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{14,16}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot 14,16^2) \cdot 14,16 \cdot \\
 &\quad \cdot 149 \\
 &= 52\,381 \text{ J} = 52,4 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Kde: D_V – průměr výkovku, včetně šířky můstku, jehož velikost je zaokrouhlena z obr. 45 na 14,16 cm,

σ_s – pevnost materiálu za kovací teplot. Vzhledem k teplotním rozmezím oceli 12 050 (900 až 1 150 °C) bylo zvoleno $\sigma_s = 149 \text{ MPa}$ z tabulky 15 (vyznačeno oranžovou barvou), simulující možné nejhorší podmínky v provozu.



Obr. 45 Rozměr 'Dv'

Tabulka 15 Přetvárný odpor σ_s pro ocel 12 050 [54]

Ocel	Kovací teploty [°C]					
	900	950	1 000	1 050	1 100	1 150
	Základní přetvárný odpor za kovací teplot σ_s [MPa]					
12 050	149	28	108	91	80	71

Výpočtem bylo zjištěno, že energie posledního úderu, při teplotě výkovku 900 °C, je 52,4 kJ, vzhledem k její velikosti musí být použit protiběžný buchar KHZ 8A od firmy Šmeral Brno, a.s., který je schopen vyvinout energii 80 kJ, oproti výpočtu vyšší o 34,5 %, čímž se snížilo riziko nedokonalého zaplnění dutiny. Pneumatický pohon vyvoluje pohyb beranu směrem dolů, proti němu se za pomoci pákového hydraulického systému zvedá rám stroje. Díky tomu dochází k eliminaci rázů. Veškeré informace jsou uvedeny v tabulce 16, stroj je znázorněn na obr. 46.

Tabulka 16 Technická data KHZ 8A [41]

Tvárcí energie	kJ	80
Upínací plocha zápustek	mm	342 x 670
Nejmenší výška zápustky	mm	400
Max. zdvih beranu	mm	600
Počet zdvihů	min ⁻¹	16
Celkový výkon	kW	110
Rozměry stroje $V_B \times \bar{S}_B \times H_B$	m	3,9 x 3,5 x 2,5



Obr. 46 KHZ 8A [41g]

Po určení energie beranu se vypočte jeho hmotnost, která v sobě zahrnuje koeficient, zohledňující stáří a opotřebovanost stroje, protože po každé opravě se zvětšuje činná plocha pístu. Vztah pro hmotnost beranu je následující:

$$m = \frac{A}{18 \div 28} [\text{kg}], \quad (3.9)$$

$$m = \frac{A}{28} = \frac{52\,381}{28} = 1\,870,75 \text{ kg}$$

kde: A – nárazová práce bucharu, jež je rovna 52 381 J,

28 – koeficient stavu stroje, který byl zvolen 28, protože se jedná o nový buchar.

Po zaokrouhlení je hmotnost beranu 1 871 kg.

3.5 Konstrukce zápustky [5], [31], [32], [44], [45], [46], [49], [56], [57], [58]

Konstrukce nástroje závisí na množství faktorů, jenž se musí brát v potaz - například počet operací, materiál výkovku, upínací rozměry bucharu apod. V první řadě se určí počet potřebných dutin k vykování výkovku. Jelikož se jedná o menší výrobní sérii, čítající 15 000 kusů za rok, jeví se jako nejvhodnější použít jednodutinovou zápustku. Dalším významným faktorem je chování materiálu během zpracovávání, které definuje norma ČSN 42 9030 jako stupeň tvárnosti a platí, že čím menší, tím lepší. Zvolená ocel 12 050 se řadí do skupiny se stupněm tvárnosti 1, a proto nevyžaduje použití postupového nástroje. Z výše popsaných důvodů bude použita jednodutinová zápustka.

Dokovací dutina, respektive její střed, musí ležet ve výslednici kovací síly, proto bude ležet uprostřed bloku. Rozměry dutiny musí být zvětšeny o velikost smrštění, u zvolené oceli 12 050 se počítá s 1 %, protože se řadí mezi nízkouhlíkové.

Tloušťka stěn, nebo také minimální vzdálenost dutiny od okraje zápustky 'Ss', znázorněna na obr. 47, závisí na parametru 'T', který se stanovuje z nomogramu, viz příloha 2. Nejprve se určí hodnota 'X', nacházející se vpravo od počátečního bodu, Vypočítá se podle vztahu:

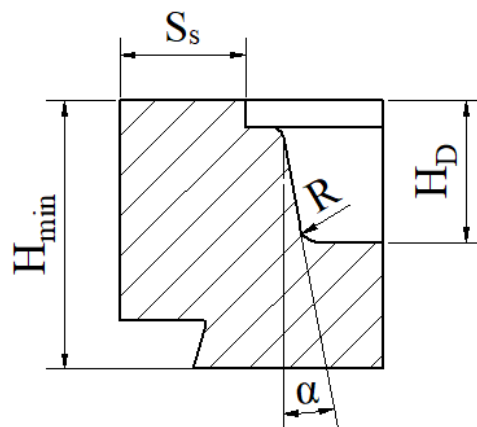
$$X = H_D + 0,4 \cdot R \text{ [mm]}, \quad (3.10)$$

$$= 8,5 + 0,4 \cdot 2 = 9,3 \text{ mm}$$

kde: H_D – hloubka dutiny,

R – poloměr zaoblení příslušného rohu zápustky, jehož velikost byla určena na 2 mm podle tabulky 5 a obr. 36.

Velikost 'X' byla zaokrouhlena na 10 mm, protože se jedná o nejmenší hodnotu uvedenou na příslušné ose nomogramu, dle kterého pak vychází velikost 'T' přibližně na 32 mm. Jelikož se jedná o jednodutinovou zápustku, platí, že se minimální vzdálenost 'Ss' rovná 'T', z čehož vyplývá že $S_s = 32 \text{ mm}$.



Obr. 47 Vzdálenost 'Ss' [44]

Dalším faktorem jsou základní vnější rozměry, z nichž se určí výška, která závisí na hloubce dutiny ' H_D ' dutiny, navíc je omezena upínacími možnostmi použitého bucharu, což znamená, že ji stanovuje výrobce. K zjištění její velikosti se používá graf na obr. 48 (uveden v normě ČSN 22 8308), na horizontální osu se vynáší hloubka dutiny a podle průsečíku s křivkou se určí vertikální souřadnice – hledaná výška ' H_{min} '. Jak je patrné, hloubce $H_D = 8,5 \text{ mm}$ odpovídá minimální výška zápustky $H_{min} = 120 \text{ mm}$.

Následuje kontrola, zda rozměr vyhovuje předpisům výrobce:

$$H_{min} \leq H_{zápustky} \quad (3.10)$$

$$120 \leq 400 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

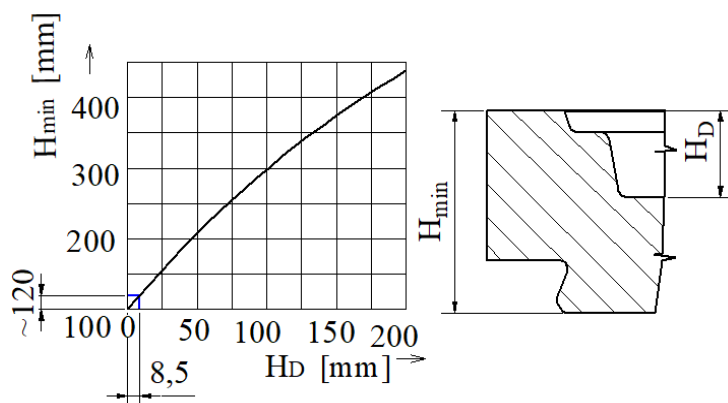
kde: $H_{zápustky}$ – povolená nejmenší výška zápustky, udávaná výrobcem. Pro buchar KHZ 8A je platná velikost 400 mm.

Aby se negativnímu jevu předešlo pěchování nástroje, platí podmínka, že na 1 t hmotnosti beranu připadá minimálně 300 cm² vytloukacích ploch. Beranu o hmotnosti 1,870 tuny odpovídá vytloukací plocha o výměře alespoň 561 cm².

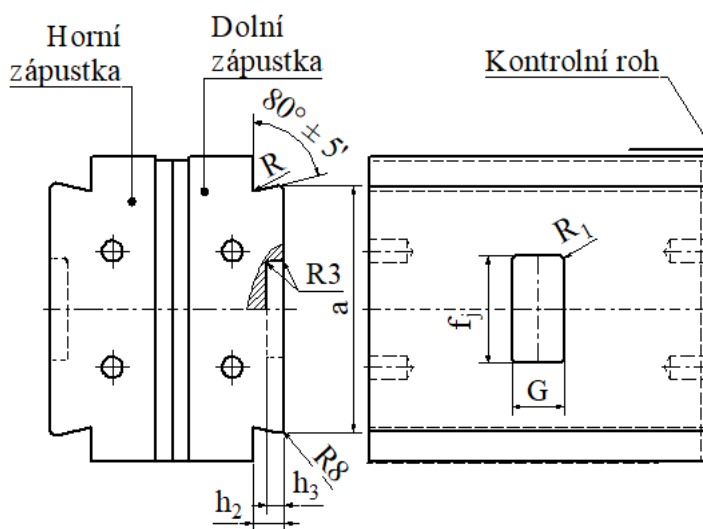
Norma ČSN 21 1410 upravuje šířku, výšku a délku zápusťového bloku. Podle ní se volí rozměry tak, aby byly splněny výše uvedené podmínky. Po jejich zvážení byl vybrán zápusťový blok o šířce 400 mm, výšce 400 mm a délce 400 mm. V návaznosti na jeho velikost vychází minimální vzdálenost 'Ss' dutiny od okraje přibližně na 106,5 mm, a reálná výměra vytloukacích ploch na 1 149 cm².

Na nástroji se nenachází žádné vedení, aby bylo možné kontrolovat jeho přesazení, bude použit takzvaný kontrolní roh o minimální šířce 50 mm a hloubce 5 mm, který se umístí na přední a levou boční stěnu při pohledu zepředu, podle norma ČSN 22 8306. Používá se jako technologická základna při výrobě zápusťky.

Upínání zápusťek je realizováno pomocí silového styku mezi klíny a plochami rybinové drážky, přičemž přesnou polohu ve stroji vymezuje jistící pero s pouzdem díky tvarovému styku. Definováno je normou



Obr. 48 Minimální výška zápusťky [44]



Obr. 49 Upínání zápusťky, včetně kontrolního rohu [58]

ČSN 21 1414 na základě tvářecí energie stroje. Na protiběžném bucharu KHZ 8A s energií 80 kJ se použije kořen zápusťky o velikosti 300 mm, další rozměry upínacích prvků se nacházejí v tabulce 17. Kořeny zápusťek jsou znázorněny na obr. 49, včetně kontrolního rohu, a rozměry jsou popsány v tabulce 18.

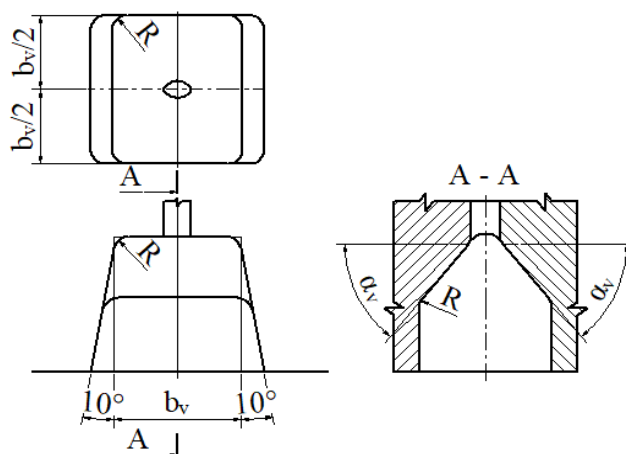
Tabulka 17 Rozměry upínacích prvků [58]

Příslušný buchar [kJ]	Kořen zápusťek 'a' [mm]	Upínací drážka 'h ₃ ' [mm]	Klín podle ČSN 21 1417 H _k x S _k x L _k [mm]	Příložky klínů h _u x t _p x l [mm]	Jistící pero v _p x c _p x k _p [mm]
80	300	32	50 x 36 x 950	48 x t _p x 800	62 x 80 x 120

Tabulka 18 Rozměry kořenů zápusťky [58]

Příslušný buchar [kJ]	a [mm]	h ₂ ± 0,5 [mm]	h ₃ [mm]	f _j [mm]	G [mm]	R [mm]	R ₁ [mm]	Držák a/b ₁ [mm]
80	300	63	32	200	80	8	20	300 x (291 ÷ 347)

Do konstrukce nástroje patří i vybrání pro kleště, které slouží k vyjímání výkovku za výronek, jeho velikost závisí na průměru polotovaru, případně jeho nejdelší hraně v pohledu shora, viz tabulka 19. Na **obr.** je znázorněn tvar takového vybrání, včetně jeho popisu. Vzhledem k tvaru a velikosti výkovku, bude výronek v podélné ose vybrání zesílen tzv. můstkem pro zesílení výronku o výšce 5 mm a poloměru 7,5 mm, nacházejícím se ve spodní i horní zápustce. Úhel ' α_v ' byl zvolen 30°.



Obr. 50 vybrání pro kleště [45]

Tabulka 19 rozměry vybrání pro kleště [45]

Průměr (hrana) polotovaru [mm]	B _v [mm]	R [mm]
77 až 85	110	25

Vybraným materiálem na výrobu zápustek je ocel 19 552, podle evropského značení EN 1.2343. Jedná se o chrom-molybdenovou ocel vhodnou pro nástroje namáhané za tepla díky vysoké pevnosti za tepla a dobré odolnosti proti vzniku trhlinek tepelné únavy. Navíc se vyznačuje malou citlivostí na prudké změny teploty, proto je možné dutinu chladit vodou. Dobře se tváří za tepla, ve stavu žíhaném na měkko vykazuje dobrou obrobiteľnosť a díky své homogenní struktuře je vhodná i k leštění. Používá se pro formy tlakového lití hliníku, uplatňuje se při výrobě velmi namáhaných malých a středně velkých zápustek. Chemické složení je uvedeno v příloze 3.

Tabulka 20 Chemické složení oceli 1.2343 [55]

Označení oceli	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]
1.2343	0,38	1,00	0,40	5,30	1,20	0,40

K manipulaci s nástrojem slouží čtyři přenášeční kolíky, umístěné na přední a zadní stěně nástroje nad plochou kořene. Vzhledem k hmotnostem zápustek, jež jsou menší než 2000 kg, budou použity kolíky o průměru 25 mm, přičemž se zvětší otvor v nástroji na 26 mm. Jejich umístění na nástroji znázorňuje obr. 30.

Rozteč otvorů od osy nástroje se vypočítá dle vztahu (2.8):

$$t = h_2 \cdot 1,5 = 78 \text{ mm}$$

kde: h_2 – výška rybiny zápustky, viz tabulka 18.

Jejich vzdálenost od upínacích ploch se počítá dle vztahu (2.9):

$$k = \frac{a}{4} = \frac{300}{4} = 75 \text{ mm}$$

kde: a – šířka kořene zápustky, která byla určena z tabulky 18.

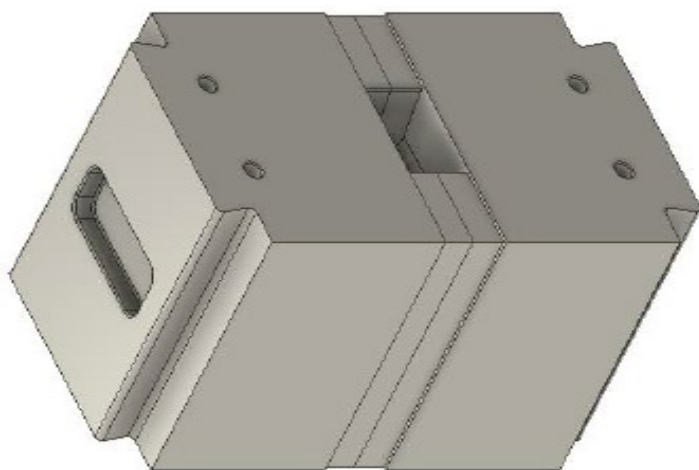
Na závěr se určí jejich délka ze vztahu (2.10):

$$L = d_k \cdot 2 = 25 \cdot 2 = 50 \text{ mm}$$

kde: d_k – průměr přenášečního kolíku, jehož velikost je 25 mm, protože hmotnost zápustek je pod 2 000 kg.

Drsnost ploch zápustek se odvíjí od jejich předpokládaného použití, je doporučena normou ČSN 22 8308. Vzhledem ke značnému tření uvnitř dutiny bude její drsnost 0,8 μm s leštěným povrchem. Zbylé použité opracování povrchu nachází na výkresech BP_209306_03 a BP_209306_04, viz seznam výkresů.

Na obr. 51 se nachází sestava zápustky (pohled otočený o 90°doleva), na které lze vidět rybinu kořene a upínací plochu s drážkou pro jisticí čep horní zápustky. Na čelí straně se nachází čtyři otvory pro přenášeční kolíky (celkem osm se jich používá k manipulaci s nástrojem) a vybrání pro kleště. Kompletní sestava se nachází na výkrese BP_209306_05. Obr. 52 názorně ukazuje dolní kovací dutinu s můstkem pro zesílení výronku spolu s vybráním pro kleště. Po obvodu se nachází kontrolní roh, jenž je totožně umístěn i v horní polovině nástroje.



Obr. 52 Sestava zápustek



Obr. 51 Dolní zápustka

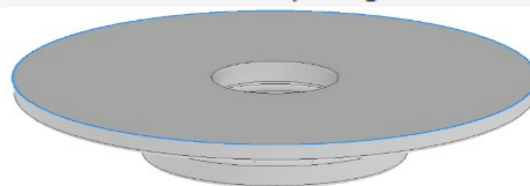
3.6 Pomocné operace [1], [5], [45], [46], [47], [59], [60], [61], [62]

Aby byl proces výroby výkovku popsán od počátku do konce, používá se k tomu takzvaný technologický postup. Nejprve musí být popsány operace, jenž se vykonávají před samotným kovááním. Patří sem:

- Dělení materiálu – byla realizováno technologií třískového obrábění, respektive dělením, na pásové pile PILOUS ARG 300 PLUS S.A.F. od české firmy Pilous – pásové pily, spol. s r.o., která je vybavena robustním ramenem z dutého profilu a šedé litiny, díky kterému je zaručen přesný řez. Ke zvýšení produktivity napomáhá hydraulické ovládání ramene, zejména vhodné pro sériovou výrobu. Pila disponuje dvěma režimy – první je poloautomatický, kdy si stroj sám řídí upnutí materiálu, začátek a konec dělení včetně zapínání chladicí kapaliny, navrácení ramene do horní polohy a rozepnutí svěraku, zakládání nové tyče a vyjímání přířezů provádí obsluha. Druhým režimem je ruční, kdy pracovník provádí všechny výše popsané úkony. Technické specifikace, včetně obrázku pily, jsou uvedeny v příloze 4.
- Ohřev polotovaru – který bude prováděn v průběžné peci D 1500/300/14 od německé firmy Nabertherm, hodící se pro kontinuální procesy s pevnými časy cyklů ohřevu, viz příloha 5. Vytápění se realizuje přímým plynovým ohřevem o maximální dosahované teplotě 1400°C. Článekový dopravník, umístěný v nížeji pece, se skládá z kovových ok přizpůsobených, je poháněn externě díky řetězu s nastavitelnou rychlostí průchodu. Řízení pracovní teploty se reguluje pro každý segment zvlášť nebo v celé délce pracovního prostoru najednou. Technické parametry jsou závislé přímo na konfiguraci zákazníka.
- Ostřížení výronku – po vykování výkovku v zápustce následuje odstranění přebytečného materiálu ve formě výronku a kovací blány v otvoru, a to buď za tepla nebo za studena na ostříhovacím lisu. Ostřížení za tepla, v rozmezí teplot od 700 do

850 °C, se volí u ocelí s obsahem uhlíku vyšším než 0,5 %. V praxi se nejvíce uplatňuje způsob za tepla, protože výrazně snižuje potřebnou střížnou sílu lisu, navíc následuje ihned po vyjmutí výkovku z nástroje, čímž se značně změnšují výrobní časy a redukuje manipulace. Jako ostříhovací stroj se používá mechanický lis výstředníkový nebo excentrický, umístěný v kovací buňce spolu s bucharem a ohřívací pecí. Ocel 12 050 by měla být zpracována za studena, protože obsahuje méně než 0,5 % ulíku, ale kvůli zvýšení produktivity práce bude použit způsob za tepla. Správná volba stroje se odvíjí od potřebné střížné síly. Na její velikost má vliv hlavně použitý materiál, respektive jeho mez pevnosti ve stříhu, a délka střížné hrany. Oproti výpočtu střížné síly u plošného tváření je zde síla 1,7krát větší, protože střížník tlačí pouze na výkovek a pro bezpečnost se počítá s dvojnásobkem velikosti stříhané tloušťky (= můstku). Velikost síly k ostřížení výronku se počítá podle vztahu:

Průměr	125,755 mm
Poloměr	62,877 mm
Délka	395,070 mm
Úhel	360,00 deg

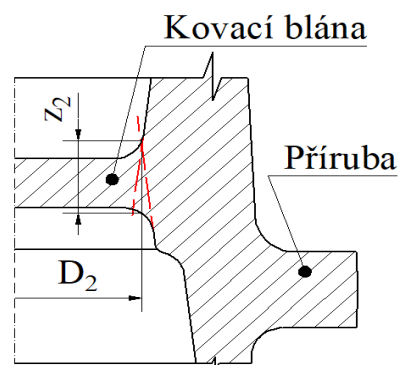


Obr. 53 Délka střížné hrany 'L_L'

$$\begin{aligned}
 F_{s1} &= 1,7 \cdot 0,8 \cdot \sigma_s \cdot L_L \cdot 2 \cdot h \text{ [N]}, & (3.11) \\
 &= 1,7 \cdot 0,8 \cdot 149 \cdot 395 \cdot 2 \cdot 1,6 \\
 &= 256\,136,96 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kde: σ_s – mez pevnosti za teploty 900 °C, které odpovídá 149 MPa, viz tabulka 15,

L_L – délka střížné hrany, byla určena podle obr. 53 a zaokrouhlena na 395 mm.



Obr. 54 Rozměry stříhané vrstvy [1]

Velikost střížné síly potřebné k ostřížení výronku byla zaokrouhlena na 256,2 kN.

Prostřížení blány se počítá podle vztahu:

$$\begin{aligned}
 F_{s2} &= 1,7 \cdot 0,8 \cdot \sigma_s \cdot L_2 \cdot z_2 \text{ [N]}, & (3.12) \\
 &= 1,7 \cdot 0,8 \cdot 149 \cdot 93,3 \cdot 2 \cdot 16,2 = 612\,564,50 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kde: L_2 – skutečná délka střížné hrany po čáře ostřížení blány, počítá se podle vztahu:

$$\begin{aligned}
 L_2 &= \pi \cdot D_2 \text{ [mm]}, & (3.13) \\
 &= \pi \cdot 29,7 = 93,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

kde: D_2 – skutečný průměr blány, který je podle obr. 54 roven 29,7 mm,

z_2 – skutečná tloušťka stříhané vrstvy kovací blány, která je podle Obr. 54 rovna 16,2 mm.

Střížná síla potřebná k prostřížení vlány má velikost po zaokrouhlení 612,6 kN.

Jelikož bude zamýšlené ostříhování prováděno jako postupové ale v rámci jednoho nástroje, kdy se nejprve ostříhne výronek a následně blána, musejí se síly 'F_{s1}' a 'F_{s2}' sečíst, jak ukazuje následující vztah:

$$\begin{aligned}
 F_s &= F_{s1} + F_{s2} \text{ [kN]}, & (3.14) \\
 &= F_{s1} + F_{s2} = 256,2 + 612,6 = 868,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Celková střížná, jenž musí stroj být schopen vyvinout, je 868,8 kN.

Z dostupných zdrojů dostupných zdrojů byl podle střížné síly $F_s = 868,8 \text{ kN}$ vybrán ostříhovací lis LKOA 200 od české firmy Šmeral Brno, a.s. Jedná se o klikový dvoudobý lis, s velikostí zatížení až 2 MN, hodí se pro oba typy ostříhování, případně se používá i k rovnání a kalibrování výkovku. Stroj je vyobrazen na obr. 55, jeho technická data jsou uvedena v tabulce 21

Tabulka 21 Technická data lisu LKOA 200 [61]

Tvářecí síla	kN	2 000
Sevření	mm	585
Průchod	mm	1 420
Upínací plocha stolu	mm	1 415 x 1 000
Upínací plocha beranu	mm	1 200 x 800
Přestavení beranu	mm	100
Zdvih/počet zdvihů	mm/min ⁻¹	210/55
Celkový výkon	kW	18
Rozměry stroje v x š x h _l	m	4,1 x 2,3 x 2,2



Obr. 55 LKAO 200 [61]

- Tepelné zpracování – používá se u ocelí tvářených za tepla, jež jsou v tzv. přírodním (surovém) stavu, jelikož během tváření za tepla dochází k rozdílné rychlosti chladnutí, nachází se ve výsledné vnitřní struktuře nestejnsměrné oblasti. K jejich odstranění se používá normalizační žíhání – ohřátí na teplotu 30 až 50 ° C nad Ac3 s poměrně krátkou výdrží a chladnutím na vzduchu. Pokud by se nechal výkovek po ostřížení vychladnout, následně znovu ohřát, hrozilo by další znehodnocení povrchu okujemi. Z tohoto důvodu jsou výrobní dávky ponechány v ohradové bedně, v níž vychladnou a jsou transportovány na další pracoviště.
- Čištění výkovku – slouží k odstranění okují vzniklých na povrchu v průběhu kování. V zásadě se provádí dvěma způsoby – mechanicky nebo chemickým mořením v lázních vodních roztoků či zásad. V případě navržené součásti bylo zvoleno mechanické otryskání kovovými broky, dopadajícími na povrch vysokou rychlostí, okuje jsou rozdraceny a samovolně odpadnou. Výsledný povrch je čistý, s malou vrchní plasticky deformovanou vrstvičkou. K tryskání byl zvolen bubnový tryskací stroj SmartLine T85R (obr) od firmy Wheelabrator Czech s.r.o. Je vhodný k čištění dávek a díky automatickému pásu se zejména hodí pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Technické parametry jsou uvedeny v příloze 6.



Obr. 56 Tryskač T85R [62]

Kompletní technologický postup je uveden v příloze 7. Obsahuje kromě kovárenské části také dílčí dokončovací operace v rámci obrobny, jako je například soustružení, vrtání či řezání závitů.

4 ZÁVĚRY

Řešenou součástí je náboj kola přední nápravy automobilů, patřících mezi veterány, u nichž byla pozastavena nebo úplně ukončena výroba náhradních dílů. Vzhledem ke značnému dynamickému namáhání při přenosu kroutícího momentu od motorové jednotky na kolo a požadavku na provozuschopnost za všech klimatických podmínek, byla vybrána ocel 12 050.

Návrh výkovku vychází z výkresové dokumentace součásti, byl však dále doplněn o dělicí rovinu, přídavky na obrábění a byly určeny velikosti úkosů vnějších i vnitřních ploch. V neposlední řadě byla vypočtena tloušťka kovací blány ve vnitřní dutině na 11 mm. Z důvodu technologičnosti použité metody nejsou předkovány otvory v přírubě, protože jsou menší než 10 mm. Z výše uvedených poznatků byl následně vyhotoven výkres výkovku.

V závislosti na vypočtené energii posledního úderu byl vybrán protiběžný buchar KHZ 8A o jmenovité energii 80 kJ, od českého výrobce Šmeral Brno, a.s. K němu byla navržena jednodutinová zápustka, obsahující uzavřenu výronkovou drážku, která je obklopena vytloukacími plochami, a vybrání pro kleště v přední v pření části obou bloků nástroje. K manipulaci slouží čtyři přenášeční kolíky, umístěné po dvojici na přední i zadní stěně jak horní, tak spodní zápustky. K upínání slouží rybina a dva proti sobě zaražené klíny a jistící čep., nacházející se na upínací ploše. Materiálem byla zvolena nástrojová ocel 19 552, vyhovující všem požadavkům na práci na bucharu.

Byl navržen kompletní technologický postup, se stávající se z dělení materiálu v podobě tyčoviny na pásové pile, ohřevu polotovaru v průchozí plynové peci a následném kování na bucharu, z ostřížení výronku a kovací blány za na ostříhovacím lise. Výkovek bude ponechán na vzduchu, aby vychladl, čímž zároveň dojde k vyžihání na měkko. Poslední operací v rámci kovářské dílny bude očištění povrchu od okují otryskáním v bubnovém tryskacím stroji.

Na závěr bude výkovek obroben podle výrobní dokumentace a expedován.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [63]

1. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
2. FOREJT, Milan. *Teorie tváření* [online]. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004 [cit. 2021-03-23]. ISBN 80-214-2764-7 Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:6f149e40-8afd-11e6>
3. DVOŘÁK, Milan, Karel NOVOTNÝ a František GAJDOŠ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80 214-2340-4.
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
5. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965.
6. Zápustkové výrobky: Ukázka produkce. *UNEX: Odlitky a výkovky* [online]. Olomouc: UNEX, 2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.unex.cz/cs/odlitky-a-vykovky/zapustkove-vykovky>
7. TŮMA, Vlastislav. *VAZ: údržba a opravy* [online]. Praha: BEN - technická literatura, 1999 [cit. 2021-02-25]. ISBN 80-860-5648-1. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:2a08b510-d7f2-11e6-8a71>
8. Historie. *Ladaklub* [online]. Brno: barinka.net, 2001 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <http://www.ladaklub.com/historie.php>
9. Ocel 12 050. *T-PROM* [online]. Pardubice: profekt.cz, 2015 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/wiki/ocel/12050>
10. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-807-3610-814.
11. VAZ 2101: Galerie. *Veteran.auto.cz* [online]. Praha: Czech News Center, 2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/galerie/71692?foto=21>
12. Assembly of Lada front axle. GrabCAD.com [online]. Boston, USA, 2017 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/lada-front-axle-1>
13. ZAHÁLKA, Tomáš. Závěrečná práce - konzultace [elektronická pošta]. Message to: podany@fme.vutbr.cz. 21 února 2021 21:54 [ciz. 2021-04-03]. Osobní komunikace
14. HUMÁR, Anton. *Technologie I-Technologie obrábění 1. část: Studijní opory pro navazující formu magisterského studia* [online]. Brno: VUT, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2003 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: http://ust.fme.vut br.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
15. ŘASA, Jaroslva, Václav GABRIEL a Jindřich KAFKA. *Strojírenská technologie 3: metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 2. Praha: Scientia, spol s r. o., 2005. ISBN 807183-337-1.
16. JELÍNEK, Petr. *Slévárství*. 5. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-802-4812-823.

17. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření*. Brno: VUT, 1992. s. [174]. [cit 2021-04-03]
ISBN 80-214-0404-3. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:f630d50e-ac7b>
18. ŠENBERGER, Jaroslav. *Metalurgie oceli na odlitky* [online]. 1. V Brně: VUTIUM, c2008 [cit. 2021-04-03]. ISBN ISBN978-80-214-3632-9. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:6902f640-c7b4-11e4-b84b> 19.
19. BERNÁŠEK, Vladimír, Jan HOREJŠ a Západočeská univerzita. *Technologie slévání*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2006. s. [2]. [cit 2021-04-03]
ISBN 80-7043-491-0. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:8f6a9720-f811-11e8-9210-5ef3fc9bb22f>
20. Všeobecné soustružení. In: *Sandvik.coromant.cz* [online]. 2012 [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general-turning/pages/>
21. Odlévání. In: *Barrioscastings.com* [online]. Los Angeles, CA [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <http://www.barrioscastings.com/index.html>
22. Brass Extrusion Process. YouTube [online]. YouTube, 2020 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=p5dgnP_AGAc
23. Castings or Forgings. In: *Tfgusa.com* [online]. USA, 2021 [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.tfgusa.com/castings-forgings-part-1-3/> 24.
24. LENFELD, Petr a Technická univerzita v Liberci. *Technologie II, Část I: Tváření kovů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. s. [2]. [cit. 2021-04-20]
ISBN 978-80-7372-466-5. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:ba694fd0-ff4f-11e3-9806-005056825209>
25. ŘASA, Jaroslav, Václav HANĚK a Jindřich KAFKA. *Strojírenská technologie 4: Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže*. 1. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-284-7.
26. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ, Milan HORÁČEK, Ladislav ZEMČÍK, Bohumil KANDUS, Jaroslva KUBÍČEK, Evžen VYPLAŠIL a Ladislav ŽÁK. *Technologie II* [online]. 3. doplněné. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, Akademické nakladatelství CERM s.r.o. [cit. 2021-03-23]. ISBN ISBN 20-214-2683-7. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:fc3098d0-8af6-11e6-88c5>
27. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL, 1992. ISBN 80-03-00651-1. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:2a960910-2757-11e2-a433-005056827e52>
28. Oblast teplot tváření. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2* [online]. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, s. 32 [cit. 2021 04-02]. ISBN 80-7183-244-8. Dostupné z: <https://ndk.cz/view/uuid:1a1acd20-b9d8-11ea-b68c>
29. ČERMÁK, Jan. Technologický postup záпустkového kování: Podklady pro předmět Projekt 1 – část kování [online]. 2. opravené. Praha: ČVUT v Praze - odbor tváření slévání a svařování, 2004 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/Uploads/vykovek-zadani.pdf>

30. ČSN 42 9002 (42002) Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1971.
31. ČSN 42 9030 Výkovky ocelové zápusťkové: Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů. Praha: Český normalizační institut, 1986.
32. ČSN 22 8308 (228308) Zápusťky pro buchary. Směrnice pro konstrukci. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1971.
33. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. Základy konstruování. Vydání šesté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978 80 7204 921 9.
34. Uplatnění zásad pro volbu dělicí roviny zápusťkových výkovků [online]. 1. Ostrava, 2012, s. 14-15 [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2718-6.pdf>
35. Přídavky na obrábění ploch pro obvyklé provedení. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, s. 654. ISBN 9788073610814.
36. Hodnoty úkosů zápusťkových výkovků pro opracované i neopracované plochy. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, s. 657. ISBN 9788073610814.
37. Hodnoty zaoblení hran r a přechodů R výkovků. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, s. 656. ISBN 9788073610814.
38. Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H1a stěny výkovku S. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, s. 657. ISBN 9788073610814.
39. KALEMANDER, Ivan. Tvářecí stroje II [online]. 2. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1989 [cit. 2021-03-23]. ISBN 80-214-1038-8. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:dd3d02c0-9f75-11e3-8e84>
40. KOUKAL, Vojtěch. Energetické stroje využívané ve tváření [online]. Brno, 2012 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
41. KHZ Šmeral. Smeral.cz [online]. Brno [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/file/DownloadFile/3/KHZ-cz,en.pdf> 44. Hammersindia.com [online]. India [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <http://www.hammersindia.com/products/forging-hammer-spare-parts.html>
42. ČADA, Radek, Jakub MACHÁLEK a Barbora FRODLOVÁ. Týmová cvičení předmětu Technologie tváření a slévání: návody do cvičení předmětu "Technologie tváření a slévání" [online]. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2021-03-23]. ISBN 978-802-4827-186. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2718-6.pdf>
43. Lasco: Forming technology [online]. Německo, In [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.lasco.com/>

44. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje* [online]. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1992 [cit. 2021-03-23]. ISBN 80-214-0401-9. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:96c1b860-63d8-11e2-9d9f-005056827e52>
45. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80 010-1003-1.
46. ČSN 21 1410 *Upínání zápustek: Základní ustanovení*. Brno: Výzkumný ústav tvářecích strojů a technologie tváření, 1970.
47. MAÁR, Karol. *Kovanie*. 1. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 1991. ISBN 8070990732.
48. DECKENBACH CZ S. R. O. *Molyduval: Speciální maziva pro tváření kovů bez pnutí* [online]. 2014 [cit. 2021-05-19]. Dostupné také z: http://www.fina-oleje.cz/files/produkty/molyduval/spec_maziva_pro_tvareni_kovu.pdf
49. BEDNÁŘ, Bohumír, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Ladislav MICHÁLEK. *Technologičnost konstrukce I*. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03268-X.
50. *Ferona a.s.* [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.ferona.cz/>
51. ČADA, Radek a Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. *Technologie I: část tváření a slévání: (návodů do cvičení)*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, s. [1d]. ISBN 80-248-0795-5. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:7c745f30-97cd-11e6-89b1-5ef3fc9ae867>
52. AMBROŽ, Oldřich, Zdeněk MACHÁČEK, Milan HORÁČEK a Vysoké učení technické v Brně. *Technologie slévání, tváření a spojování: Laboratorní cvičení: Určeno pro posl. fak. strojní*. Praha: Mezinárodní organizace novinářů, 1989, s. [2]. [cit. 2021-05-19] ISBN 80-214-0043-9. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:8bbcfad0-8ffe-11e3-bd09-005056827e51>
53. ČSN 41 2050 *Ocel 12 050*. Hrádek u Rokycan: Železářny Bílá Cerkev, n.p., 1976.
54. ČSN 22 8306 *Zápustky pro svislé kovací lisy: Technické požadavky na konstrukci*. Brno: FORM, státní podnik, 1990.
55. Metal data sheet 1.2343. *HASCO* [online]. Německo, 2021 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: https://media.hasco.com/marketing/Produkt/WDB/EN/1.2343_WDB
56. ČSN 41 9552 *Ocel 19 552*. Kladno: Spojené ocelárny, n.p., 1969.
57. ĎÁSEK, Josef a Český svaz vědeckotechnických společností. *Zápustky a jejich tepelné zpracování*. Praha: SNTL, 1966, s. 47. [cit. 2021-05-15] Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:fcd95680-0937-11e3-9584-001018b5eb5c>
58. ČSN 21 1414 *Upínání zápustek pro protiběžné buchary*. Brno: Výzkumný ústav tvářecích strojů a technologie tváření, 1970.
59. PILOUS ARG 300 PLUS S.A.F. - PÁSOVÁ PILA NA KOV. Forte-Wespa [online]. Plzeň [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.forte-wespa.cz/eshop-pilous-arg-300-plus-s.a.f.html>

60. Continuous furnace. Nabertherm [online]. Němeko [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.nabertherm.com/en/products/industry/thermal-process/processes-under-air/furnaces-continuous-processes/continuous>
61. Ostřihovací lis LKOA 200. Šmeral Brno a.s. [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/35/lkoa-200>
62. Bubnový tryskáč stroj SmartLine. Wheelabrator Czech s.r.o. [online]. In [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.wheelabratorgroup.com/cs-cz/equipment/wheelblast-machines/batch-type-tumblast-machines/smartline-tumblast-machine>
63. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2013 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYBOLŮ

Značka	Legenda	Jednotka
A	Nárazová energie bucharu	[kJ]
a	Šířka kořene zápustky	[mm]
a _k	Vzdálenost otvoru vodícího kolíku	[mm]
b _v	Šířka vybrání pro kleště	[mm]
D ₀	Skutečný průměr polotovaru	[mm]
D' ₀	Teoretický průměr polotovaru	[mm]
D ₂	Skutečný průměr blány	[mm]
D _D	Vnější průměr výkovku	[mm]
D _V	vnější průměr výkovku včetně můstku	[mm]
D _k	Průměr otvoru pro kolík	[mm]
d	Průměr vnitřního otvoru součásti	[mm]
d _k	Průměr přenášecího kolíku	[mm]
d _z	Změna výšky výkovku po úderu	[mm]
F	Velikost kovací síly	[N]
F _D	Průmět plochy výkovku v dělicí rovině	[mm ²]
F _{s1}	Střížná síla výronku	[N]
F _{s2}	Střížná síla k ostřížení blány	[N]
F _s	Skutečná střížná síla	[N]
f _i	Délka plochy rovnoběžné s dělicí rovinou	[mm]
f _j	Délka drážky jistícího čepu	[mm]
G	Šířka drážky jistícího čepu	[mm]
g	Dovolený otřep	[mm]
H	Výška výkovku	[mm]
H _D	Hloubka dutiny	[mm]
H _i	Výška plochy kolmé na dělicí rovinu	[mm]
H _{min}	Minimální výška zápustky	[mm]
h	Výška můstku	[mm]
h ₂	Výška rybiny	[mm]
h ₃	Hloubka drážky jistícího čepu	[mm]
h _k	Výška klínu	[mm]
h _v	Výška křížového vedení	[mm]
k	Vzdálenost otvoru přenášecího kolíku od kraje zápustky	[mm]
L	Délka vodícího kolíku	[mm]
L ₀	Délka polotovaru	[mm]
L ₂	Skutečná délka střížné hrany blány	[mm]
L _L	Délka střížné hrany	[mm]
m	Hmotnost beranu	[kg]
n	Výška zásobníku v horní zápustce	[mm]
p	Dovolené přesazení	[mm]
R	Poloměr zaoblení rohu	[mm]
R ₁	Poloměr zaoblení rohu drážky jistícího čepu	[mm]
R _i	Poloměr zaoblení vnitřního rohu dutiny	[mm]
r	Poloměr zaoblení přechodové hrany dutiny	[mm]
r _i	Poloměr zaoblení vnějšího rohu dutiny	[mm]
S	Délka můstku	[mm]
S _s	minimální vzdálenost dutiny od okraje zápustky	[mm]

Značka	Legenda	Jednotky
S_z	Délka zásobníku	[mm]
s_j	Dovolená jehla	[mm]
t	Rozteč přenášecích kolíků od osy zápustky	[mm]
V_0	Objem polotovaruObjem opalu	[mm ³]
$V_{výk}$	Objem výkovku	[mm ³]
$V_{výr}$	Objem výronku	[mm ³]
X	Hodnota x-ové souřadnice nomogramu	[mm]
z	Spěchovaná výška	[mm]
z_2	Skutečná tloušťka blány	[mm]
α	Úhel zkosení dutiny nástroje	[°]
α_1	Vnější úhel zkosení stěny výkovku	[°]
β_1	Vnitřní úhel zkosení stěny výkovku	[°]
γ	Úhel zkosení kruhového vedení	[°]
δ	Velikost opalu	[%]
σ_s	Pevnost materiálu za kovacích teplot	[MPa]
σ_{ps}	Střední hodnota pevnosti materiálu za kovacích teplot	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázka výkovků [6].....	9
Obr. 2 Automobil VAZ 2101	10
Obr. 3 3D model náboje	10
Obr. 4 Model přední nápravy LADA [12]	10
Obr. 5 Náčrt náboje	11
Obr. 6 Příklad soustružení [20]	12
Obr. 7 Příklad odlévání [21]	12
Obr. 8 Příklad protlačování [22]	13
Obr. 9 Příklad kování [23]	13
Obr. 10 Kování v zápustce [24]	14
Obr. 11 Kovací teploty uhlíkových ocelí [28]	14
Obr. 12 Vlivy působící na oxidaci [5].....	15
Obr. 13 Dělicí roviny [34].....	16
Obr. 14 Tvarová složitost výkovku [31]	16
Obr. 15 Rozdělení přídavků [33]	17
Obr. 16 Úkosy na výkovku [4].....	17
Obr. 17 Vnitřní a vnější poloměry zaoblení [37]	18
Obr. 18 Nejmenší tloušťka blány 'H ₁ ' [38].....	18
Obr. 19 Konstrukce bucharu	19
Obr. 20 Protiběžný buchar [43].....	20
Obr. 21 Hydraulický buchar [43]	20
Obr. 22 Grafické znázornění průběhu síly a práce [3]	21
Obr. 23 Vícedutinová zápustka [3]	22
Obr. 24 Jednodutinová zápustka [26]	22
Obr. 25 Tvary výronkových drážek [44]	24
Obr. 26 Kruhové vedení [32]	25
Obr. 27 Křížové vedení [44]	25
Obr. 28 Vodící kolíky [32g]	25
Obr. 29 Upínání zápustek [44]	26
Obr. 30 Otvory pro kolíky [46].....	26
Obr. 31 Umístění úkosů [49].....	28
Obr. 32 Poloha dělicí roviny [49]	28
Obr. 33 3D model náboje v 3/4 řezu.....	29
Obr. 34 Poloha dělicí roviny	29
Obr. 35 Realizace přídavků a úkosů	30
Obr. 36 Zaoblení	30
Obr. 37 Oboustranně osazený výkovek [30].....	31
Obr. 38 Tvarová složitost výkovku [30]	31
Obr. 39 Chyby výkovku [25]	33
Obr. 40 Průmět plochy do dělicí roviny.....	33
Obr. 41 Výronková drážka [32]	33
Obr. 42 Objem výkovku.....	34
Obr. 43 Objem výronku	34
Obr. 44 Založení polotovaru v nástroji.	35
Obr. 45 Rozměr 'D _v '.....	36
Obr. 46 KHZ 8A [41g]	36
Obr. 47 Vzdálenost 'S _s ' [44].....	37

Obr. 48 Minimální výška zápustky [44]	38
Obr. 49 Upínání zápustky, včetně kontrolního rohu [58]	38
Obr. 50 vybrání pro kleště [45]	39
Obr. 51 Dolní zápustka	40
Obr. 52 Sestava zápustek	40
Obr. 53 Délka střížné hrany 'L _L '	41
Obr. 54 Rozměry stříhané vrstvy [1]	41
Obr. 55 LKAO 200 [61]	42
Obr. 56 Tryskač T85R [62]	42

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Chemické složení oceli 12 050 [13]	11
Tabulka 2 Mechanické vlastnosti oceli 12 050 [13]	11
Tabulka 3 Velikost přídavek na obrábění [35]	17
Tabulka 4 Velikost úkosů [36]	17
Tabulka 5 Zaoblení [37]	18
Tabulka 6 Tloušťka blány H ₁ [38]	18
Tabulka 7 Příklady používaných zápustkových ocelí [44]	23
Tabulka 8 Hodnoty výronkové drážky [32]	24
Tabulka 9 Vůle, tolerance vedení [44]	25
Tabulka 10 Stupně přesnosti [31]	31
Tabulka 11 Mezní úchytky pro stupeň přesnosti 5 [31]	32
Tabulka 12 Mezní úchytky pro stupeň přesnosti 6 [31]	32
Tabulka 13 Mezní úchytky zaoblení [31]	32
Tabulka 14 Informace o polotovaru [50]	35
Tabulka 15 Přetvárný odpor σ_s pro ocel 12 050 [54]	36
Tabulka 16 Technická data KHZ 8A [41]	36
Tabulka 17 Rozměry upínacích prvků [58]	38
Tabulka 18 Rozměry kořenů zápustky [58]	38
Tabulka 19 rozměry vybrání pro kleště [45]	39
Tabulka 20 Chemické složení oceli 1.2343 [55]	39
Tabulka 21 Technická data lisu LKOA 200 [61]	42

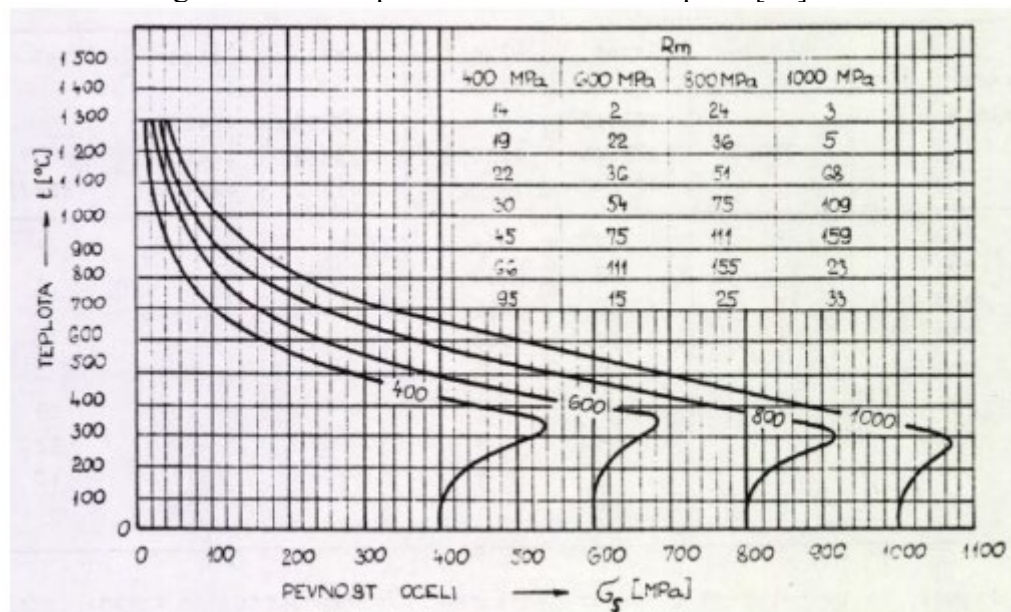
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Diagram závislosti pevnosti materiálu na teplotě [44]	53
Příloha 2 Nomogram parametru 'T' [44]	54
Příloha 3 Informační popouštěcí vrstevnicový diagram pro ocel 1.2343 [56]	55
Příloha 4 Pásová pila PILOUS ARG 300 PLUS S.A.F. [59]	56
Příloha 5 Průchozí plynová pec D 1500/300/41 [60]	57
Příloha 6 Technická data bubnového tryskače T85R [62]	58
Příloha 7 Technologický postup	59

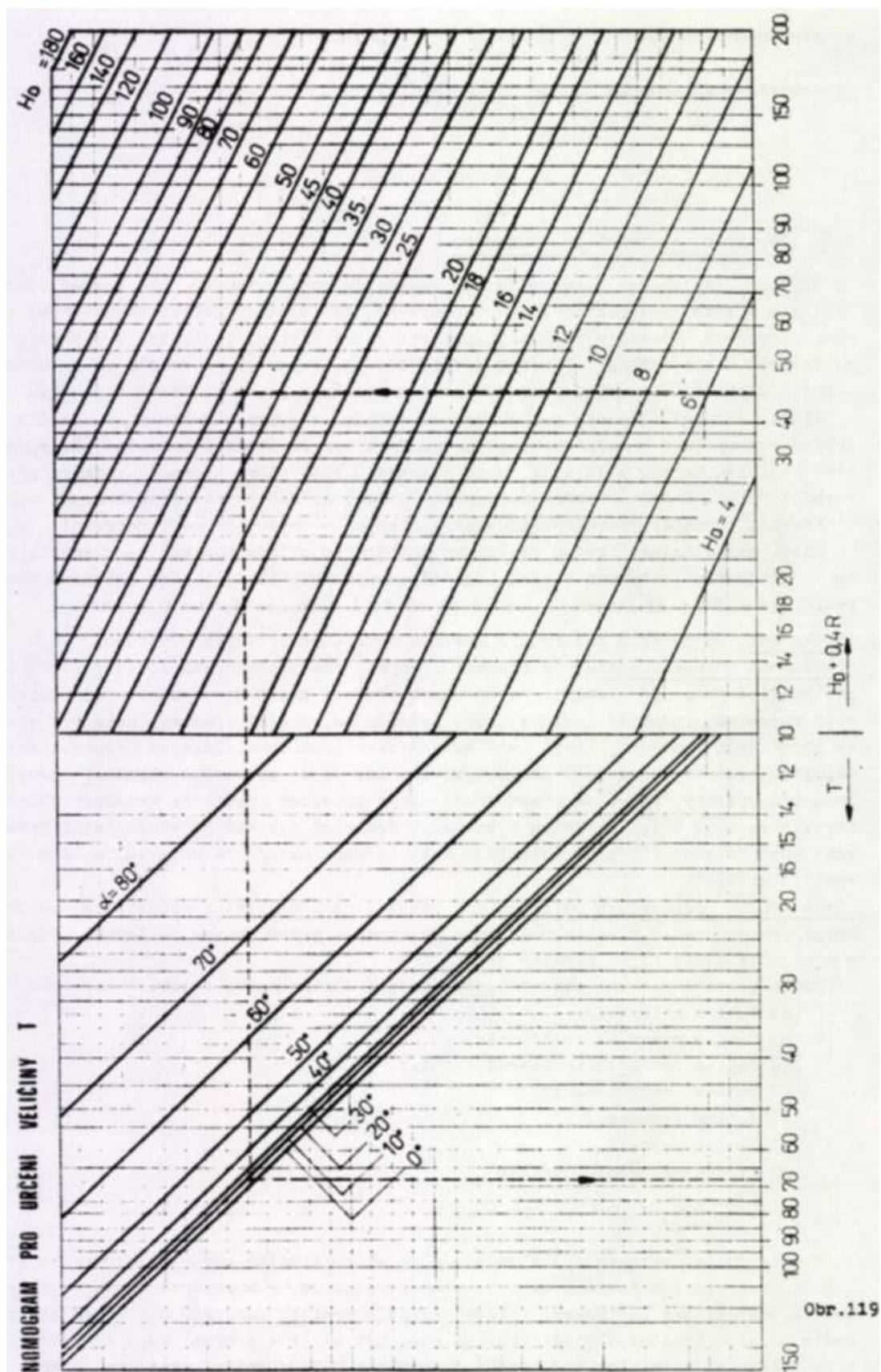
SEZNAM VÝKRESŮ

Náboj kola	BP_209306_01
Výkovek	BP_209306_02
Horní zápustka	BP_209306_03
Spodní zápustka	BP_209306_04
Sestava	BP_09306_05

Příloha 1 Diagram závislosti pevnosti materiálu na teplotě [44]

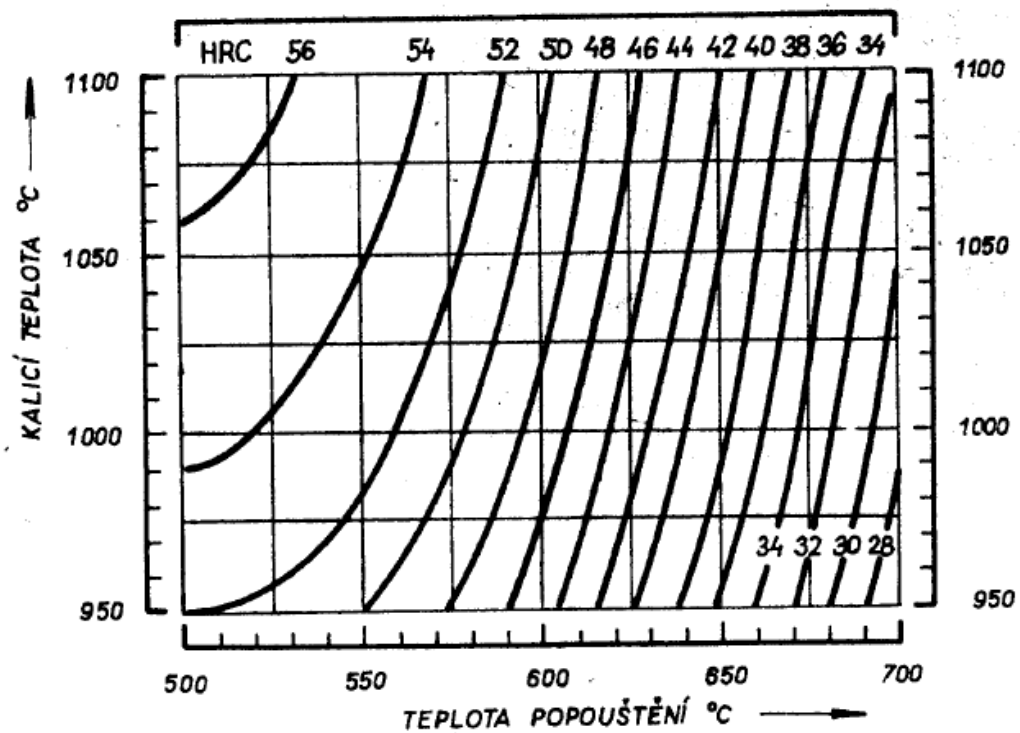


Příloha 2 Nomogram parametru 'T' [44]



Příloha 3 Informační popouštěcí vrstevnicový diagram pro ocel 1.2343 [56]

Informativní popouštěcí vrstevnicový diagram:



Příloha 4 Pásová pila PILOUS ARG 300 PLUS S.A.F. [59]



TECHNICKÉ PARAMETRY

Provedení:	poloautomat
Úhlování:	Úhlování na 2 strany
Řezná rychlost:	15-90 m/min.
Výkon motoru:	2,2 kW; 400 V / 50 Hz
Rozměry stroje (DxŠxV):	1740x950x1560 mm
Váha stroje:	645 kg
Rozměr pilového pásu:	3150x27x0,9 mm
Pracovní výška:	910 mm
Řezný rozsah (90°):	Ø 300 mm (375x190 mm)

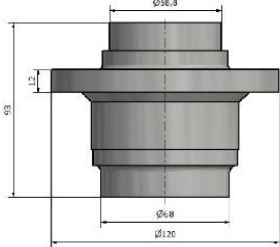
Příloha 5 Průchozí plynová pec D 1500/300/41 [60]



Příloha 6 Technická data bubnového tryskače T85R [62]

	T50R	T85R	T170R
Pásový dopravník	pryžový	pryžový	pryžový
Průměr bubnu (mm)	457	610	775
Šířka bubnu (mm)	650	735	915
Maximální hmotnost dávky (kg)	100	180	227
Max. hmotnost dílu (kg)	10	8	15
Počet metacích kol / příkon (kW)	1x5.5	1x5.5	1x7.5

Příloha 7 Technologický postup

VUT FSI ÚST BRNĚ		TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název sestavy: VAZ 2101	Název podsestavy: Přední náprava	Název součásti: Náboj kola
Číslo výkresu součásti: BP_209306_01			Polotovar: ČSN EN 10060 Ø85-91			
Materiál: ČSN 12 050			Datum vytvoření: 5/18/2021			
Číslo op.:	Vypracoval: Tomáš Zahálka		Kontroloval:			
Orient. č.:	Název a označení stroje:		Pracoviště:		Popis pracovní činnosti:	
001/001	Pásová pila PILOUS 300 PLUS S.A.F.		Dělrna		Dělit tyč Ø85 na délku 91 ± 0,2	
005/005			Kontrola		Kontrolovat délku 91 ± 0,2 s četností 10 %	
010/010	Průběžná pec D 1500/300/14		Kovárna		Ohřev polotovaru na 1150°C	
015/015	Buchar KHZ 4A		Kovárna		Kovat polotovar za teplot 900 až 1150°C	
020/020	Ostřihovací lis LKOA 200		Kovárna		Ostříhnout výronek a kovací blánu za tepla	
025/025	Ohradová paleta standart 800 x 600		Kovárna		Nechat vychlanout výkovek na vzduchu	
030/030			Kontrola		Kontrolovat rozměry výkovku podle výkresu s četností 10 %	
035/035	Bubnový tryskáč stroj SmartLine T85R		Povrchové úpravy		Otryskat výkovek	
040/040			Kontrola		Vizuálně kontrolovat výkovek s četností 20 %	
045/045	Ohradová paleta standart 800 x 600				Skládat do ohradových palet	
050/050	CNC soustruh HD2200C		Obrobna		Upnout za Ø 81,8 Soustružit vnější povrch dle výkresu Soustružit vnitřní povrch dle výkresu	
055/055	CNC soustruh HD2200C		Obrobna		Upnout za Ø 69,7 Soustružit vnější povrch dle výkresu Soustružit vnitřní povrch dle výkresu	
065/065	CNC soustruh HD2200C		Obrobna		Upnout za Ø 78 Navrtat 8 děr středícím vrtákem 2,5A ČSN 22 1110 Vrtat 4 díry vrtákem Ø 10,4 Sraziit hrany Řezat závit M12 x 1,5 - 6G Vrtat 2 díry vrtákem Ø 4,2 Srazit hrany Řezat závit M5 x 0,8 - 6G Vrtat 2 díry vrtákem Ø 5 do hloubky 7 Srazit hrany	
070/070			Kontrola		kontrolvat všechny rozměry, četnost 15 %	
075/075			Balení		Natřít antikorozním nátěrem Zabalit do voskovaného papíru	
080/080			Expedice		Vyskládat na palety Expedovat	